



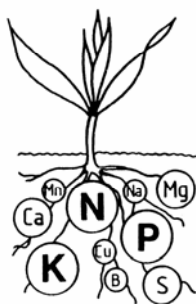
Kväveförluster och kvävehushållning Förbättringsmöjligheter i praktiskt jordbruk

**Kortsiktiga och långsiktiga markbiologiska processer
med speciell hänsyn till kvävet**

Nitrogen losses and N management Possible improvements in agriculture

**Short term and long term soil biological
processes with special regard to nitrogen**

Jan Persson



**Institutionen för markvetenskap
Avd. för växtnäringslära**

**Swedish University of Agricultural Sciences
Dept. of Soil Sciences
Division of Soil Fertility**

**Rapport 207
Report**

**Uppsala 2003
ISSN 0348-3541
ISRN SLU-VNL-R—207-SE**

Innehåll

Abstract	4
Inledning	5
Den organiska substansens omsättning	6
Uppbyggnad av organisk substans	6
Den organiska substansens nedbrytning	6
Humusbildning	7
Nitrifikation	10
Nettoeffekt av kvävet mineralisering och immobilisering	11
Remineralisering	20
Denitrifikation	22
Stallgödselns kväve- och humuseffekt	23
Ammoniakavdunstning	24
Försurning och kalkverkan – effekt av biologiska processer	27
Markandning	27
Kvävet mineralisering (ammonifikation)	29
Nitrifikation	29
Växternas näringsupptag	29
Stallgödselns kalkverkan	30
Oxidation av reducerat svavel	31
Ammoniumfixering	31
Sammanfattning	32
Erkännande	36
Referenser	37
Markbiologiska övningsexempel	41

Abstract

Nitrogen processes are discussed in relation to plant growth and organic matter decomposition. Mineralisation / immobilisation of the nitrogen is related to the carbon, to the stabilisation of carbon and nitrogen, and to the remineralisation of nitrogen. The acidifying effect of the biological processes are included in the presentation. The biological processes are demonstrated with a couple of applied problems.

Inledning

Föreliggande dokument sammanfattar den tillämpade delen av den undervisning, som jag meddelade i den markbiologiska kursen vid Inst. för markvetenskap fram till år 1998. Först lämnas en övergripande beskrivning av det markbiologiska systemets processer. Därefter presenteras ett antal praktiska övningsexempel. Dessa är utformade som frågor, vilka besvaras och diskuteras. *Dokumentet är utformade med tanke på praktiska lösningar för odlaren.*

Tack vare undersökningar under lång tid och i flera länder känner man ganska väl de processer som reglerar kvävet tillgänglighet. Man känner exempelvis hur temperatur och fuktighet inverkar och man känner vilka organismgrupper som är verksamma i olika situationer osv.

Problemet är att odlaren inte känner effekten av dessa faktorer när han ska fatta beslut om exempelvis gödsling. Ändå måste ett beslut fattas. Det perfekta svaret kan man inte åstadkomma bland annat eftersom informationen om ovan nämnda faktorer saknas när beslutet ska fattas.

Om en odlare ber en rådgivare om ett svar ska han också få ett svar. Om rådgivaren inte svarar måste odlaren ändå vidta någon åtgärd och rådgivaren bör ha större möjlighet att göra en rimlig bedömning – ty en bedömning måste det bli. Bedömningen måste bli en förenkling eftersom många faktorer inte är kända när beslutet ska tas.

Med hjälp av känd kunskap om nedbrytning, mineralisering / immobilisering i relation till N-halt, substratkvalitet, stabilisering av C och N, remineralisering av stabiliserat N kan man trots allt göra en rimlig bedömning. Mikrofloran betraktas som en arbetande enhet, vars arbete beror på de förutsättningar vi ger den. En viktig begränsning hos materialet är att tillräcklig hänsyn inte tages till omsättbarheten hos olika kväveföreningar. Tidsaspekten när det gäller kvävet mineralisering vid omsättning av färskt organiskt material blir därför diffust. Därmed måste inte bara kvävet upptagning utan också utlakningen beaktas. Ett lättsättbart kväverikt material kan förorsaka snabb mineralisering vid olämplig tidpunkt. Materialet är relevant för såväl konventionell odling som för ekologisk odling.

I dokumentet ihopkopplas kvävet mineralisering/immobilisering i relation till kolet, kolets och kvävet stabilisering samt kvävet remineralisering.

Den organiska substansens omsättning

Uppbyggnad av organisk substans

Principerna för kolets kretslopp är välkända. Genom fotosyntesen binds atmosfärens CO_2 under bildning av energirik organisk substans och O_2 . Energin binds i C – C bindningar. Detta klargjordes redan i början av 1800-talet av de Saussure. Han lade grunden till lantbrukskemin genom att använda kvantitativa experimentella metoder. Liebig utökade kunskapen. Det var också han som med stor kraft förde ut budskapet till allmänheten.

Kolet är det näringsämne som ingår i växternas torrsubstans med högst halt – 40-45%. Det ingår i ett stort antal organiska föreningar i växten – sockerarter, cellulosa, proteiner, lignin m.fl. Sammansättningen varierar med art, växtedel och ålder. När den organiska substansen byggs upp tar växten upp, förutom C från atmosfären, NH_4^+ eller NO_3^- och andra näringsämnen från marken via rotsystemet. Kvävet binds direkt till kolet. Det ingår i exempelvis proteiner och aminosyror. Den helt avgörande delen av markens kväve är bundet i organiska föreningar.

Den organiska substansens nedbrytning

Den organiska substansen kan åter brytas ner under bildning av CO_2 och vatten samt upptagande av syre. Man säger att kolet mineraliseras (översätts till mineralisk form). Nedbrytningen ombesörjs av mikroorganismer (heterotrofer), djur och växter. Dessa organismgrupper utnyttjar den organiska substansen som sin energikälla. De energirika C – C bindningarna bryts upp varvid den frigjorda energin kan utnyttjas av organismerna. Utvecklingen av CO_2 är således ett uttryck för att energi frigöres. Också djuren använder organisk substans som energikälla. Genom nedbrytningen sluts kretsloppet. Detta kompliceras emellertid på olika sätt. Växtmaterialet är komplext och dess sammansättning varierar beroende på växtslag, växtedel och ålder. Alla delar i det färska växtmaterialet angrips inte lika lätt av mikroorganismer. En del tar slut på någon dag (socker, proteiner). Andra behöver veckor eller någon månad (cellulosa). Ligninet är ännu mer svår-omsättbart. Mikroorganismer kan inte omsätta allt organiskt kol till CO_2 . Det bildas alltid en del omsättningsprodukter, vilka är stabila mot fortsatt mikrobiell nedbrytning. Dessa substanser benämns humussubstanser.

Inte bara kolet utan också kvävet mineraliseras vid den mikrobiella nedbrytningen av organiskt material. Det är protein, nukleinsyror och amino-

socker som under inverkan av olika enzymer mineraliseras under bildning av NH_3 . Det är således ammoniak som utgör kvävet mineraliseringsprodukt (inte nitrat). I marken övergår NH_3 till NH_4 . Anledningen är att pH-värdet är relativt lågt i marken. Detta diskuteras mera i detalj under avsnittet ammoniakavdunstning.

Den mikrobiella nedbrytningen av organisk substans leder till att mikrofloran förökar sig. Denna tillväxt och förökning kräver, förutom kol, kväve när ny mikrobiomassa ska bildas. Det sker en immobilisering av kväve där dels det mineraliserade "växtkvävet", dels markens förråd av mineralkväve kan utnyttjas av mikroorganismerna.

Humusbildning

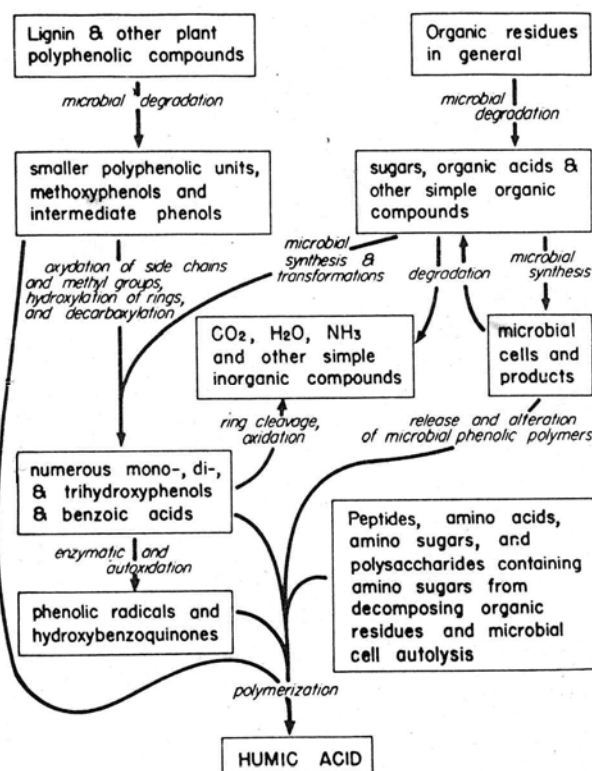
Kortsiktigt mineraliseras inte allt kol i den organiska substansen. Utöver mikroorganismer bildas det snabbt omsättningsprodukter. En del av dessa är lättomsättbara och omsätts snabbt av mikroorganismerna. Men det bildas också stabila substanser (humusämnen). Stabiliseringen sker förvånansvärt snabbt. En studie av nedbrytning av gräs visade att 70 % av C-mineraliseringen var avslutad efter ett år. Därefter gick mineraliseringen långsamt (Jenkinson, 1967). Humifieringen är således inte en process som avslutas från en dag till en annan, men för praktiska bedömningar kan man räkna med en snabb stabilisering (mer om detta i samband med diskussion av övningsuppgifterna).

Humussubstansen är inte någon enhetlig fraktion. Bland annat varierar omsättbarheten från några decennier till flera sekler. Skillnaden i omsättbarhet är mycket stor mellan humussubstanserna och det färskväxtematerialet. I modelleringsarbete har man ofta delat in humusfraktionen i två fraktioner – stabilt och halvstabilt material. Inte heller dessa fraktioner är homogena och väldefinierade.

Humusbildningen är inte i detalj klarlagd. Den teori, som presenteras i flertalet läroböcker lanserades av Flaig (1966). Enligt denna teori utgöres basen i humussubstanserna av fenoliska föreningar. Ligniner är i stor utsträckning uppbyggda av fenoliska substanser. Enligt Flaigs teori är därför lignin en viktig bas för humusbildningen. I mycket växtmaterial är ligninhalten 15-20 %. Fenoliska substanser finns emellertid inte enbart i lignin. Mikroorganismerna tillverkar själv sådana substanser och kan därför bidra till humusbildningen. Helt ligninfria substanser (exempelvis socker) har således en viss humuseffekt. Stevenson (1986) har förenklat beskrivit humusbildningen enligt följande:

1. Lignin is subjected to oxidative splitting with the formation of primary structural units
2. The side-chains of lignin-building units are oxidized, demethylation occurs, and the resulting polyphenols are converted into quinones by polyphenoloxidase enzymes
3. Quinones arising from lignin (as well as from other sources) react with N-containing compounds forming dark-colored polymers.

En mer komplett bild av Flaigs humusteori redovisas i figur 1 (Stevenson, 1986).



Figur 1. Övergripande schema för bildning av humussubstanser ur polyfenoler från lignin och syntetiserade av mikroorganismer.

Figure 1. Overall scheme for the formation of humic acids from polyphenols derived from lignin and synthesized by microorganisms.

Trots att Flaigs humusteori accepteras av flertalet läroböcker finns det invändningar mot den. Genom modern NMR-teknik har man funnit att hu-

humussubstanserna inte innehåller större mängder aromatiska föreningar utan att det framför allt är alifatiska föreningar. Detta stämmer dåligt med lignin som råmaterial för humussubstanserna. Baserad på NMR-analyser hävdar Piccolo et al. (1996) att de viktigaste komponenterna i humussyror är alifatiska syror, estrar, alkoholer, alifatiska ligninfragment, polysakarider och polypeptider. Komponenterna har relativt låg molekylvikt. Tvärbundna makromolekyler kan förklaras genom aggregering av blandningar initierade av komplexbildning med metallkationer (Piccolo et al., 1996).

Man kan räkna med att omsättningen resulterar i att motsvarande 20-25% av torrsubstansen i färska växtrester återfinns i stabilt material. Olika källor uppger olika nedbrytningsgrad (Jansson, 1961, Persson, 1978). Siffran 20%, som används i detta dokument har uppskattats ur Kirchmann et al. (1994). Detta är möjligen en underskattning av humusbildningen. Stallgödsel ger ett större bidrag till humusbildningen beroende på att de mest lättomsättbara delarna har förbrukats under fodersmältningen och under lagringen. Svåromsättbart material såsom lignin har därvid anrikats. I detta dokument räknas med 30%. Humusmaterialets kvalitet anses bestämmas mer av miljöbetingelserna i marken än av det färskas materialets kvalitet. Man finner exempelvis att C/N-kvoten i markens organiska material inställer sig på omkring 10 i mineraljordar med gott närings- och kalktillstånd oberoende av ursprungsmaterialets kvalitet. För vissa substrat krävs det lång tid innan denna jämvikt uppnås.

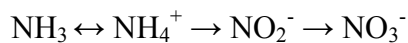
Det är inte enbart kol som stabiliseras vid nedbrytningen av färskt material. Också kvävet stabiliseras, vilket framgår ovan av beskrivningen av Flaigs humusmodell. Det är inte några små mängder kväve, som finns stabiliserat i marken. Humussubstanserna i en åkermark i gott närings- och kalktillstånd innehåller 5-6% kväve. En ofta förekommande uppgift i litteraturen är att humussubstanserna innehåller 58% C (detta lär vara en överdriven noggrannhet). Detta ger C/N-kvoten 10 om N-halten är 6%. Jämfört med växtmaterial är N-halten hög i humussubstanserna. Baljväxter, vilka har en för växtmaterial hög kvävehalt innehåller ungefär 3% kväve. En jord med 4 % mullhalt innehåller ca 6000 kg kväve per hektar bundet i organisk substans. En del finns i levande mikroorganismer (3-5%) och en del i färsk skörderester, men huvuddelen, minst 90%, finns i humussubstanser.

På varje jord närmar sig humushalten ett jämviktsläge, som bestäms av tillskottet av nytt humusmaterial och av nedbrytningen, vilken regleras av bland annat jordart, klimat och bearbetning. Vid ändring av förutsättningarna, exempel vid övergång till nytt odlingssystem, närmar sig jämvikten ett nytt läge. Men det tar tid att nå dit. Ju kallare klimatet är desto högre

blir mullhalten. När man lägger jungfrulig mark under plog sjunker mullhalten kraftigt under några decennier.

Nitrifikation

Det tål upprepas, att det bildas NH_3 när organiskt kväve mineraliseras. Denna ammoniak representerar emellertid inte något slutstadium i kvävet processer. Den kan ingå i processer av olika slag. Dessa kommer att uppmärksammas i olika avsnitt längre fram. Här ska kvävet oxidation till nitrat – nitrifikation beskrivas. Det är framför allt två bakteriearter som svarar för nitrifikationen. Nitrosomonas oxiderar NH_4^+ till NO_2^- (nitrit). Nitrobacter slutför processen genom att oxidera nitrit till nitrat (NO_3^-).



Dessa bakteriegrupper är i högsta grad specialister. Deras energikälla utgörs inte av organiskt material i likhet med heterotroferna (se ovan). De utnyttjar i stället nämnda kväveföreningar som energikälla. Energi som frigöres genom oxidationen används av organismerna för deras livsprocesser. Också i ett annat avseende är nitrifierarna specialister. Vi har tidigare sett att heterotroferna använder organiskt nedbrytbart material inte bara som energikälla utan också som C-källa för sin tillväxt och förökning. Nitrifierarna kan inte använda organiskt material som C-källa. I stället använder de vätekarbonat (HCO_3^-) löst i markvattnet.

Det må tilläggas att en del heterotrofa organismer har förmågan att överföra NH_4^+ till NO_3^- via NO_2^- . Dessa har emellertid långt mindre betydelse för nitrifikationen än Nitrosomonas och Nitrobacter. Under gynnsamma betingelser går nitrifikationen snabbt och fullständigt. Efter 1-2 veckor hittar man normalt inte NH_4^+ i marken. Allt mineralkväve föreligger då som nitrat. Rent allmänt kan man säga att om mineralkvävet inte behövs för annat, exempelvis immobilisering, så är nitrat slutstation för det mineraliska kvävet i marken.

Faktorer som påverkar nitrifikationen i marken är temperatur, syre, fuktighet, pH-värde och tillgången till ammonium. Normalt sker oxidationen av nitrit snabbare än oxidationen av NH_4^+ . Därför hittar man normalt inte något nitrit i marken. Undantagsvis kan anrikning av nitrit inträffa, nämligen när man av någon anledning erhållit hög halt av ammoniak (NH_3) i marken (mycket NH_4^+ samtidigt med högt pH-värde). Detta inträffar exempelvis efter spridning av urea. Ureans hydrolys ger upphov till sådana förutsättningar. Effekten är dock övergående. Mera om detta längre fram.

Nettoeffekt av kvävet mineralisering och immobilisering

Det har redan sagts, att omsättning av organiskt material innebär att inte endast det organsikt bundna kolet bryts ner och mineraliseras. Också kvävet är föremål för omsättning och mineralisering. Kvävet mineralisering leder till bildning av NH_3 , vilket kan oxideras till nitrat. Nitratbildningen är dock inte en del av mineraliseringsprocessen.

Kvävet kretslopp i marken (det inre kretsloppet) omfattar inte endast mineralisering. En lika viktig process är immobilisering (fastläggning) av kväve. För mikroorganismernas tillväxt och förökning behöver dessa kväve. Om det inte finns tillräckligt i det organiska materialet, som är föremål för nedbrytning tas detta kväve från mineralkvävet i marken (immobilisering). Samtidigt pågår nedbrytningen av organiskt material, vilket leder till mineralisering av kväve.

Mineralisering och immobilisering pågår således alltid samtidigt. Däremot är det inte säkert att de båda processerna alltid går lika fort. Det är t o m. så att detta inträffar ganska sällan. Man kan ha nettomineralisering eller nettoimmobilisering. Det är förutsättningarna för mikroorganismerna, som bestämmer vilket resultatet av de båda processerna blir. Den viktigaste faktorn härvidlag är energisubstratets kvalitet, dess kvävehalt och dess omsättbarhet. Ett kväverikt material innehåller mer kväve än vad mikroorganismerna behöver. Omsättning av ett sådant material resulterar i nettomineralisering. Om materialet är kvävefattigt blir resultatet i stället nettoimmobilisering. Det är allmänt accepterat, att om materialets C/N-kvot är lägre än 20-25 erhålles nettomineralisering. Är C/N-kvoten högre än 20-25 erhålles nettoimmobilisering.

Exempel 1. Ett ton torrs substans i baljväxtgrönmassa resulterar vid omsättning i 200 kg humussubstanser (20% av torrs substansen) innehållande 6% N eller 12 kg kväve. Den färska grönmassan innehåller 30 kg N (3%). Allt kväve behövs inte för humusbildningen. Vad som inte behövs nettomineraliseras. Enligt denna beräkning blir 18 kg kväve över. Detta ger en grüngödslingseffekt, som kan utnyttjas av grödan. Eftersom humusbildningen sker snabbt – inom loppet av ett eller två år, blir också grüngödslingseffekten kortvarig. Exemplet visar också att allt kväve i en grüngödslingsgröda inte fullständigt kan användas kortsiktigt av grödan. Humusbildningen kräver sin andel. Å andra sidan medför humusbildningen att markens kvävelevererande förmåga ökar långsiktigt.

Ett kvävefattigt organiskt material har för hög halt av kol i relation till kväve. Om omsättningen ska gå problemfritt måste mikroorganismerna

därför ta kväve från markens mineraliska kväve (ammonium eller nitrat). Resultatet blir nettoimmobilisering. Även detta kan belysas med ett exempel.

Exempel 2. Ett ton torrsubstans i halm innehåller 0,5% N eller 5 kg kväve. 20% av halmens kol ger upphov till humussubstanser. Detta kräver optimal fördelning av halmen. Detta ger 200 kg humussubstanser med 6% N eller 12 kg kväve. Det saknas således 7 kg kväve för humusbildningen. Detta kväve måste tas från markens förråd av mineralkväve. Om inte mineralkvävet räcker till blir resultatet att det bildas mer CO₂ och färre humussubstanser. Däremot torde inte humussubstansernas sammansättning påverkas. Av uppgifter i litteraturen anges att ett ton halm kan binda 7 kg kväve. Detta stämmer väl med de beräkningar som gjorts i detta exempel.

Jensen (2000) har angivit att upp till 14 kg kväve kan bindas till ett ton halm. Så mycket kväve kan inte bindas enligt här gjorda beräkningar. Humusbildningen kan vara större än de 20% som anges i exemplet. Räknar man med 30% humussubstanser kommer humussubstanserna att innehålla 18 kg kväve, varav 5 finns i halmen. Det betyder att 13 kg binds vid omsättning av halmen. Det är möjligt att kraftig finfördelning resulterar i större utbyte av humus. Ovan relaterade litteraturuppgifter tyder på att så kan vara fallet.

Denna egenskap hos halmen att under nedbrytningen immobilisera kväve har föreslagits som ett medel att binda nitrat på hösten för att därmed förhindra utlakning – en form av fånggröda. I Danmark får man delvis räkna halmen som ”grön mark”. I Sverige är detta inte fallet. Undersökningar i Skara (Lindén, muntligt) har visat att intensiv stubbearbetning, som är en förutsättning för effektiv immobilisering, leder till ökad mineralisering av humussubstanser. Det kväve, som därvid mineraliseras överstiger den mängd som halmen immobiliserar.

Av exemplen framgår att det är små mängder humuskväve, som bildas vid nedbrytning av en halmgröda eller en baljväxtgröda (i vårt fall 12 kg kväve per ton torrsubstans i växtbiomassa). Att det är fråga om små mängder framgår när man ställer det i relation till den totala mängden humuskväve i ett hektar åkermark (6000 kg kväve).

Det organiska materialets omsättbarhet är en faktor av stor betydelse för omsättningens nettoeffekt över tiden. Sågspån av barrträd är exempel på organiskt material som omsätts långsamt. Materialet är rikt på lignin. Detta gör att nedbrytningen går långsamt, men omsättningen hindras framför allt

av att veden innehåller hartser som hindrar mikroorganismernas verksamhet. Fortfarande bestämmer emellertid materialets C/N-kvot om det ska bli nettomineralisering eller nettoimmobilisering, men det tar längre tid innan omsättningen av det färska materialet är avslutad (Jansson, 1961).

Humussubstanserna utgör ett mycket stabilt material. Man räknar med att 1-2% av humussubstanserna mineraliseras årligen. C/N-kvoten är ungefär 10 hos den organiska substansen. Det betyder att omsättning av humussubstanter resulterar alltid i nettomineralisering. Denna mineralisering resulterar i att 60-100 kg kväve per hektar årligen ställs till grödans förfogande. Omsättningen tär således på humusförrådet. Ska humushalten förbli oförändrad måste nya humussubstanter bildas för att kompensera nedbrytningen. Det är inte alltid som den organiska substansen är i balans. Långvarig vall leder till att relativt lättomsättbara substanser anrikas. När vallen bryts erhålles en betydande nettomineralisering av kväve. Detta är ännu mer markant när jungfrulig mark plöjes för första gången. Vi får anledning att återkomma till detta.

På grund av nitrifikationen finns merparten av kvävet i nitratform. Både ammoniumkväve och nitratkväve kan användas av mikroorganismerna vid omsättning av organiskt material. Normalt föredrar mikroorganismerna ammoniumkväve. När kvävet byggs in i organisk substans av mikroorganismerna är det i huvudsak som NH_2 . Detta kväve har samma valenstal som kvävet i NH_4^+ . Om kvävet tas upp som NO_3^- måste detta reduceras, vilket betyder att energi måste tillföras (jämför energitransformationen i samband med nitrifikationen).

Kvävets inre kretslopp utvecklar sig olika beroende dels på energisubstratets kvalitet (N-halt och omsättbarhet), dels på vilken form av mineralkväve (ammonium eller nitrat) som står till mikroorganismernas förfogande. Normalt ser man inte skillnaderna med hjälp av vanliga analyser, men tar man hjälp av isotopteknik kan detaljerna urskiljas. Ett exempel får demonstrera detta. Exemplet är taget från laborationsövningarna vid den markbiologiska kursen. Det ska belysa hur NH_4^+ -N respektive NO_3^- -N reagerar över tiden och hur energikällans N-halt inverkar på dessa processer. Övningen genomfördes av Sofia Björnsson, Carina Carlsson och Åsa Ericsson (Björnsson et al., 1998).

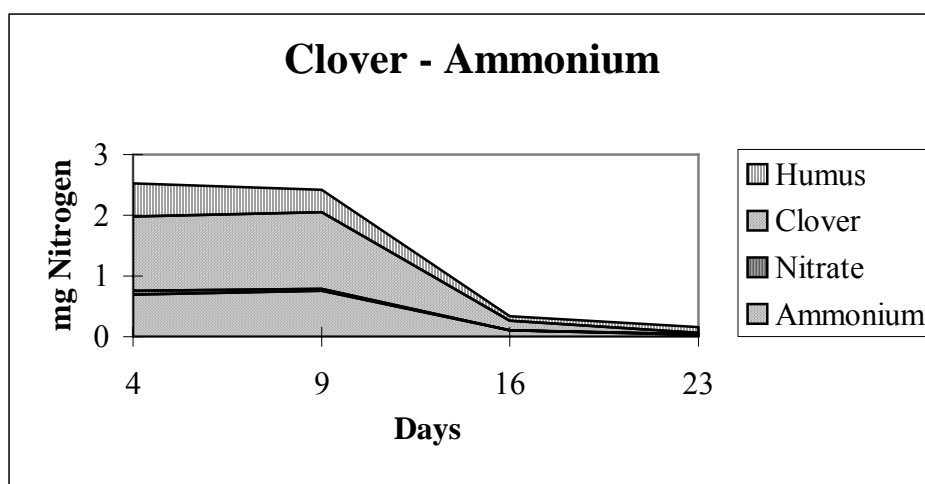
Exempel 3. Mineralkvävets transformationer i ett jordprov studerades över tiden vid omsättning av ett kväverikt och ett kvävefattigt energisubstrat. När försöket startades tillfördes, förutom substratet, NH_4NO_3 . Försöksplanen var så uppbyggd att gödselmedlet var isotopmärkt på två sätt. Dels var NH_4 -delen märkt, dels var NO_3 -delen märkt. De båda

gödselalternativen tillfördes jordprover med stärkelse respektive klöver. Dessutom tillfördes omärkt NH_4NO_3 till ett jordprov där energisubstratet utgjordes av klöver, där det organiska kvävet var isotopmärkt. Försöksplanen framgår av följande uppställning:

Energisubstrat	$^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3$	$\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$	NH_4NO_3
Stärkelse	2,5 + 2,5 mg N		
Stärkelse		2,5 + 2,5 mg N	
Klöver	2,5+2,5 mg N		
Klöver		2,5+2,5 mg N	
$^{15}\text{Klöver}$			2,5+2,5 mg N

Märkt NH_4^+ och NO_3^- bestämdes i jordproverna efter 4, 9, 16 och 23 dagar. Genom detta arrangemang var det möjligt att spåra *ursprunget* (märkt ammonium-N, märkt nitrat-N och märkt klöver-N) till det mineralkväve som bestämdes efter olika tidsintervall.

Figuren 2a-d visar hur det kväve som ursprungligen tillfördes vid starten av försöket omsattes under olika inkubationstider. Detta ursprungskväve återfanns i tre fraktioner: $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ och klöver-N. Dessutom fanns en fjärde fraktion, nämligen den som hade sitt ursprung i humussubstanser. Vid försökets start (0 dagar) fanns endast en fraktion ($\text{NH}_4\text{-N}$ eller $\text{NO}_3\text{-N}$). När det markbiologiska spelet satte in efter starten uppträdde ytterligare tre

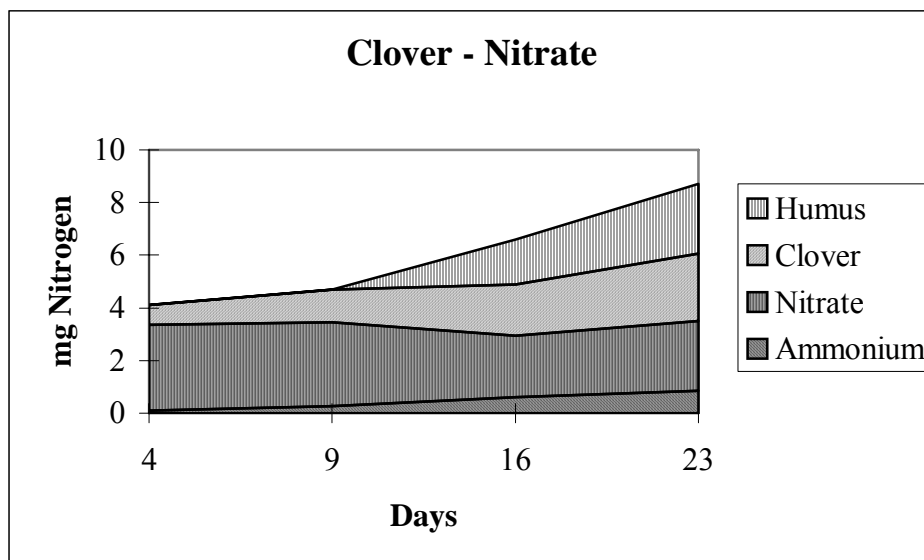


Figur 2a. Ammoniumkvävetts ursprung vid omsättning av klöver.

Figure 2a. Origin of the ammonium nitrogen using clover as energy substrate.

1. Det vid starten tillförda ammoniumkvävet minskade snabbt. Orsaken var immobilisering. Redan efter fyra dagar hade mängden märkt ammoniumkväve minskat avsevärt i jämförelse med startmängden.
2. Någon ammoniumbildning av det märkta nitratkvävet skedde inte. Detta var inte heller att vänta.
3. Nettomineraliseringen av klöver-N var livlig. Klövern är ett lättomsättbart kväverikt material.
4. En del humus-kväve mineraliserades snabbt och registrerades som ammoniumkväve.
5. Fram t.o.m dag 9 förblev de olika poolernas storlek ganska konstanta. Summan av de olika poolerna var ungefär lika stor som startmängden av NH_4^+ -N, men nu var ammoniumkvävet sammansatt av kväve från olika ursprung.
6. Därefter minskade poolerna snabbt och nästan fullständigt – nitrifikationen tog över.

fraktioner. Observera att figurenas skalor är olika. Kommentarer i anslutning till respektive figur.

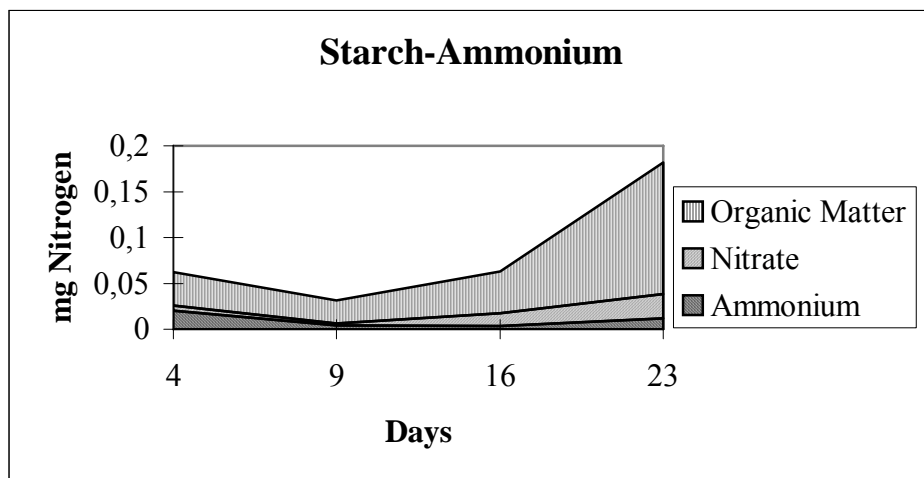


Figur 2b. Nitratkväves ursprung vid omsättning av klöver.

Figure 2b. Origin of the nitrate nitrogen using clover as energy substrate.

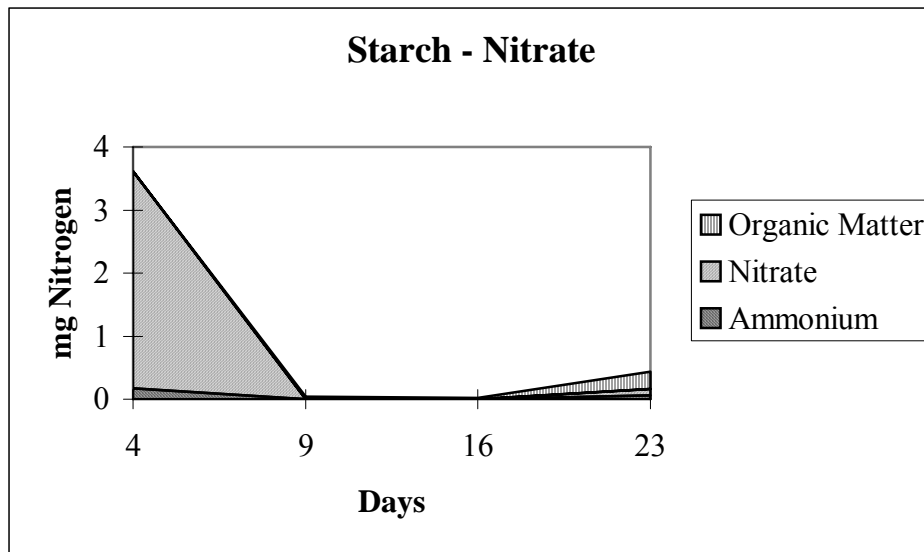
1. Endast en liten mängd nitratkväve härrörde från det ursprungliga ammoniumkvävet. När nitrifikationen kom igång fanns inte mycket märkt ammoniumkväve kvar att nitrifiera. Det immobiliserades vid omsättning av klövern.

2. Poolen med nitratkväve ändrade sig inte mycket över tiden. Det beror på att nitraten inte behövdes. Det fanns ammoniumkväve dels från ursprungligt NH_4NO_3 dels från mineraliserat klöver-N. Mikroorganismerna föredrar ju detta kväve framför nitratkväve.
3. Nitrifikationen av klöverkväve hade börjat redan efter fyra dagar.
4. Humuskväve, som mineraliserades hade helt nitrifierats vid försökets avslutning.



Figur 2c. Ammoniumkvävet ursprung vid omsättning av stärkelse.
 Figure 2c. Origin of the ammonium nitrogen using starch as energy substrate.

1. Det var små mängder ammoniumkväve som fanns, oberoende av ursprung (observera skalan).
2. Det kan noteras att en liten mängd ammoniumkväve återfanns som hade sitt ursprung i nitrat, som tillfördes vid försökets start. Detta kväve måste ha immobiliserats och därefter åter mineraliserats. Reduktion av nitratkväve direkt till ammoniumkväve inträffar knappast. (Eftersom det är fråga om mycket små mängder kan man inte utesluta försöksfel).
3. Det mesta kvävet härrörde från humuspoolen och också detta var små mängder.



Figur 2d. Nitratkvävet ursprung vid omsättning av stärkelse.

Figure 2d. Origin of the nitrate nitrogen using starch as energy substrate.

1. Mycket små mängder nitrat med ursprung från ammoniumkväve återfanns redan efter 4 dagar. Ammoniumkvävet immobiliserades snabbt vid stärkelsens omsättning.
2. Ammoniumkvävet räckte inte för omsättningen av stärkelsen. Också det nitrat som tillsattes vid start immobiliserades under de första 9 dagarna.
3. Det fanns en antydning till remineralisering vid försökets avslutning, men huvuddelen av det mineral-N som fanns vid slutet av försöket hade sitt ursprung från humus.

Med stöd av figurerna 2a-2d och tabell 1 kan resultaten sammanfattas sålunda:

1. Båda energisubstraten var mycket lättomsättbara, ett kväverikt och ett kvävefritt substrat.
2. En stor del av klöverkvävet mineraliserades snabbt under bildning av ammoniumkväve.
3. Samtidigt immobiliserades ammoniumkväve tillfört vid starten som NH_4NO_3 – en god demonstration av mineralisering/immobilisering *turn over*.

Tabell 1. Totala innehållet av mineralkväve (märkt och omärkt) vid omsättning av N-rikt och N-fattigt energisubstrat, mg N

Table 1. Mineral nitrogen content after decomposition of energy substrates rich and poor in nitrogen, mg N

Omsättningstid, dagar <i>Incubation, days</i>	<u>Klöver Clover</u>		<u>Stärkelse Starch</u>	
	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N
0	2,67 ^a	3,71 ^a	2,67	3,71
4	2,53	3,56	0,036	3,38
9	2,44	4,46	0,031	0,039
16	0,34	6,59	0,063	0,025
23	0,16	8,70	0,182	0,433

^aNär försöket startades tillfördes 2,5 mg NH₄-N och 2,5 mg NO₃-N. I tabellen redovisas 2,67 resp. 3,71 mg N vid starttillfället. Anledningen till denna avvikelse är att jorden innehöll små mängder mineral-N. Detta måste ingå i kretsloppet.

4. Det tillförda nitratkvävet drogs inte in i kretsloppet vid omsättning av klöver – det behövdes inte för mikroorganismernas kväveförsörjning, mikroorganismerna föredrar ammoniumkväve.
5. Mot slutet av försöksperioden ökade mängden nitratkväve som följd av att ”klöver-N” och ”humus-N” mineraliserades och nitrifierades. Nästan allt mineral-N återfanns som nitrat vid försökets avslutning.
6. Den kvävefria stärkelsen förorsakade en kraftig immobilisering. Ammoniumkvävet räckte inte till. Också nitratkvävet tog slut.
7. Nettoimmobiliseringen var snabbt övergående. Den övergick i netto-mineralisering (det var emellertid fråga om små mängder)
8. Endast mycket små mängder av kvävet som härrörde från det tillförda ammoniumnitratet remineraliserades. Det var i stället humuskväve, som mineraliserades.

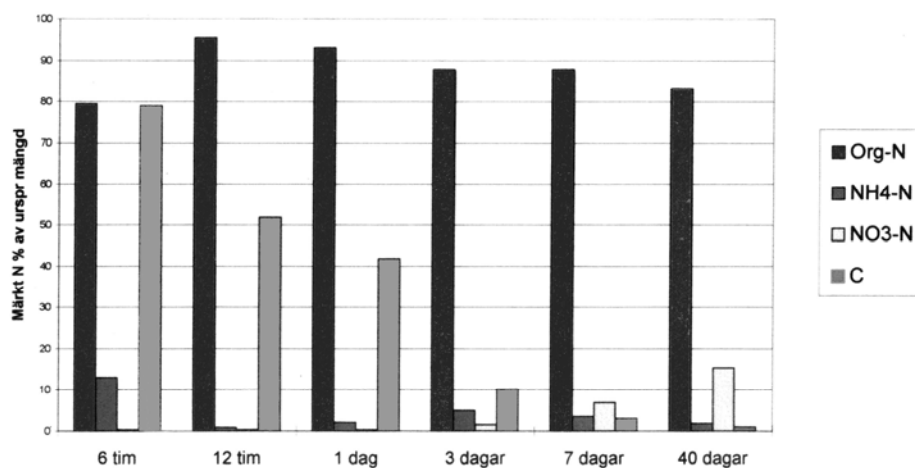
Undersökningen demonstrerar på ett utmärkt sätt de slutsatser rörande kvävetns inre kretslopp som presenterades av S.L. Jansson på 50-talet. Hans undersökningar blev mycket uppmärksammade (Jansson, 1958). Paul (1981), en av de stora på det markbiologiska området, skrev “Jansson brought together many of the concepts in what is now a classical study of mineralisation – immobilization of soil-N”.

Relationen mellan C, NH₄-N, NO₃-N och organiskt N kan beskrivas med ytterligare ett demonstrationsförsök. Till två uppsättningar jord sattes 5 mg

isotopmärkt $\text{NH}_4\text{-N}$. Dessutom tillfördes glykos, en lättomsättbar energikälla, dels en dag efter N-tillsatsen, dels 28 dagar efter N-tillsatsen. Resultaten redovisas i figur 3 och 4.

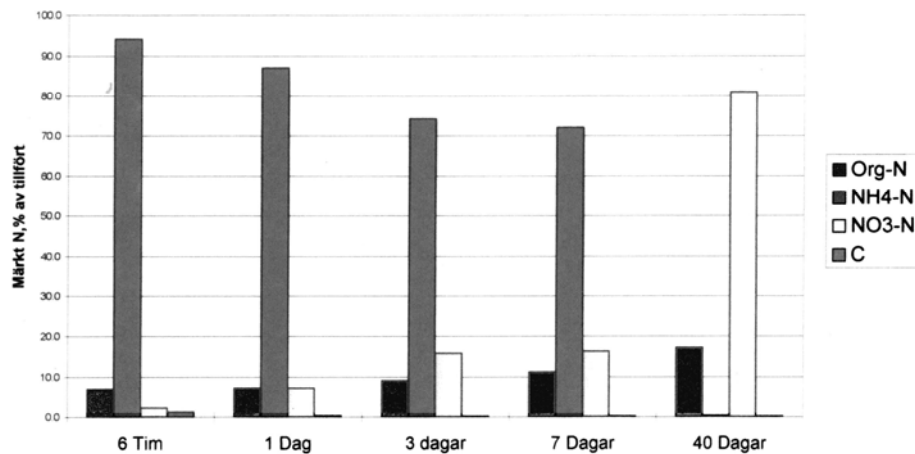
De olika N-formerna bestämdes efter olika tidpunkter och redovisas som staplar i figuren. Utvecklingen av CO_2 redovisas i en fjärde stapel. En hög stapel representerar hög biologisk aktivitet. Figur 3 visar, att vid god tillgång till lättomsättbar energi återfanns merparten av det märkta kvävet i organisk form redan efter 6 timmar – snabb immobilisering. Samtidigt kan man utläsa en hög biologisk aktivitet. Den avtar emellertid mycket snabbt. Man kan vidare notera att det immobiliserade kvävet remineraliserades endast i begränsad omfattning trots den snabba nedgången i biologisk aktivitet – en begynnande stabilisering av kvävet.

När energin tillfördes en månad före kvävet blev utvecklingen inte alls lika dramatisk (figur 4). Kväveimmobiliseringen uteblev nästan helt. Det fanns ingen energi som motiverade en immobilisering. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ förblev i ammoniumform under en stor del av försöksperioden. Vid försökets avslutning hade allt kväve överförts i nitratform – en normal utveckling när mineralkvävet inte behövs av växter eller mikroorganismer.



Figur 3. Energins effekt på kvävet immobilisering. 5 mg $^{15}\text{NH}_4\text{-N}$ tillfördes 1 dag efter glykostatillsats.

Figure 3. Effect of energy on nitrogen immobilization. 5 mg $^{15}\text{NH}_4\text{-N}$ were added one day after glucose supply.



Figur 4. Energins effekt på kvävet immobilisering. 5 mg $^{15}\text{NH}_4\text{-N}$ tillfördes 28 dagar efter glykostatillsats.

Figure 4. Effect of energy on nitrogen immobilization. 5 mg $^{15}\text{NH}_4\text{-N}$ were added 28 days after glucose supply.

Remineralisering

Den biologiska omsättningen leder till att kväve immobiliseras. Om det rör sig om kvävefattigt energisubstrat erhålles en nettoimmobilisering av kväve. Det är relevant att fråga sig när detta kväve kommer tillbaka – remineraliseras. Det har ibland hävdats att man ska plöja ner halmen på hösten. Det är tänkt att detta ska leda till immobilisering av mineralkväve i marken i samband med halmomsättningen. Detta kväve är givetvis skyddat mot utlakning. Det är vidare tänkt att det fastlagda kväve ska komma tillbaka på våren för att då utnyttjas av grödan. Tyvärr fungerar inte verkligheten så. Redan 1965 påpekade Bartholomew (1965) att det immobiliserade kvävet till stor del stabiliseras snabbt. I sin bok *Cycles of Soils* sammanfattade Stevenson (1986) ett flertal författare på följande sätt: "Only a small portion of this immobilized nitrogen (< 15 %) becomes available to plants during the subsequent growing season, and availability decreases even further in subsequent years".

Jansson (1968) genomförde 20-åriga kärnförsök, där isotopmärkt kväve fick omsättas tillsammans med olika energisubstrat. Han beräknade nedbrytningsgraden (nettomineraliseringsgraden) dels hos jordens organiskt bundna kväve, dels hos det immobiliserade märkta kvävet. Generellt fann han att ”humuskvävet” mineraliserades något långsammare (ca 1,5% årligen) än det märkta kvävet (2,5% årligen) under de första 5-6 åren. Därefter var skillnaden mellan de båda fraktionerna obetydlig. Någon större skillnad mellan olika energisubstrat fanns inte. Jansson (1968) beräknade halveringstiden för det märkta och det omärkta kvävet (”humuskvävet”) vid omsättning av olika organiskt material. Följande uppställning ger några exempel:

	Märkt N	”Humuskväve”
Stallgödsel	27 år	29 år
Färsk träck	33 år	26 år

Jansson sammanfattade resultaten av undersökningen på följande sätt: “The fertilizer nitrogen not removed from the soil during the first and second year after the fertilizer application will turn into a longlasting and slow-acting biological state”. A century after the application of inorganic fertilizer N several percent of this N will normally remain in the soil.

Fånggrödan är ett vapen mot utlakning, som under senare år diskuterats och också kommit till användning i praktisk drift. Vanligen består fånggrödan av gräs. Normalt är skörden av en fånggröda ganska liten. Från Västergötland rapporteras 600-800 kg ts per hektar (muntligt B. Lindén). I södra Sverige blir skördarna naturligtvis större. Höstarna är ju längre. Det har ibland hävdats att konsekvent odling av fånggröda kan leda till en ”kvävebomb”, dvs. en ansamling av humussubstanter skulle kunna leda till en ohämmad kväve mineralisering. Självklart är det så att ökat input av färskt organiskt material leder till ökad humusbildning och därmed ökad långsiktig kväve mineralisering, men denna ökning, betingad av en fånggröda leder inte till en våldsam mineralisering.

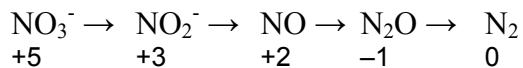
I ett fastliggande försök (35 år) har bland annat 4000 kg ts i gräs tillförts årligen (Kirchmann et al., 1994). Jämfört med ogödslat försöksled var N-halten i jorden efter 35 år högre i gräsledet (0,13 % resp. 0,18 %) men jämfört med motsvarande tillförsel i halm var skillnaden inte stor. (ogödslat halmled 0,16 %, gödslat halmled 0,18 %). Efter 35 år var C/N-kvoten i samtliga behandlingar ungefär 10, dvs. av den storleksordning som man normalt finner i bördig mineraljord. Att de olika färska substraten hade olika kvävehalt påverkar inte det stabiliserade materialets kvalitet. Som redan påpekats är verkan av de olika kvävehalterna överstökad på ett par år. Hö

halt av kväve ger initialt nettomineralisering (gröngödslingseffekt). Låg halt leder initialt till nettoimmobilisering. Fånggrödan som vapen mot utlakning beror inte på att torrsubstansen har låg kvävehalt utan på att den växande grödan tar upp mineralkväve på hösten. När denna omsätts efter nedbrukning förorsakar den nog närmast nettomineralisering.

Denitrifikation

Det finns ett flertal bakteriearter i marken som har förmåga att överföra nitrat till gasformiga kväveföreningar. Det är bakterier, som normalt är aerober, dvs. de använder syre vid andningen. Syret används som elektronacceptor för de kemiska processerna varvid vatten bildas.

Vid syrebrist (anaeroba betingelser) kan dessa bakteriegrupper ändra omsättningsmönstret och övergå till att utnyttja kväveföreningar (främst nitrat) som elektronacceptor. Det må påpekas, att det inte är syret i nitraten, som utnyttjas under anaeroba förhållanden. Det är i stället kvävet som reduceras. Vid fullständig denitrifikation sker reduktionen från valenstalet +5 till 0. Genom detta ges bakterierna möjlighet att bryta ner organisk substans för energiförsörjningen. Vid fullständig denitrifikation sker processerna i följande steg:



Av dessa föreningar är NO och N₂O växthusgaser, som kan försvinna innan de utnyttjas för vidare reduktion. Bortsett från detta regleras förhållandet mellan N₂ och N₂O av yttre faktorer såsom pH-värde, fuktighet, temperatur och tillgång till energikälla. Allmänt kan man säga att ju gynnsammare förutsättningarna för denitrifikation är (høgt pH-värde, hög temperatur osv.) desto mer dominerar N₂.

Det skall påpekas att en del av den NO och N₂O som bildas i marken också kan härröra från nitrifikationen.

Denitrifikationen kan spela en viktig roll för växternas kväveförsörjning. Den är mycket svårbedömd. Förutsättningarna för denitrifikation varierar kraftigt, inte bara över tiden och från fält till fält utan också inom det enskilda fältet på korta avstånd. Det är därför svårt att ange hur stor denitrifikationen är i en viss given situation. Man måste beakta de faktorer som påverkar denitrifikationen. Tæt jord, hög vattenhalt och lättomsättbart organiskt material främjar denitrifikationen. Omsättning av organiskt material förbrukar ju syre och kräver annan elektronacceptor när syret är slut.

Danska undersökningar har visat att stallgödsel i marken gynnar denitrifikationen (Christensen, 1980, 1983, 1984).

Det kan vara på sin plats att ställa nitrifikationen i relation till denitrifikationen. Det kan ligga nära till hands att uppfatta dessa processer som motsatta. Så är inte fallet. Syftet med de båda processerna är olika. Nitrifikationen utför nitrifierarna för att skaffa energi för sina livsprocesser. Denitrifierarna använder kväve som elektronacceptor för att kunna bryta ner organsikt material och på så sätt skaffa energi för livsprocesserna. Nitrifierarna utgör ett fåtal mycket specialiserade bakterier. Vid denitrifikationen är ett stort antal, normalt aeroba, bakterier verksamma. Dessa kan vid syrebrist ställa om de biokemiska processerna och övergå till att använda kväve som elektronacceptor.

Stallgödselns kväve- och humuseffekt

Stallgödsel är ett brett begrepp. Det omfattar ett stort antal kvaliteter beroende på djurslag, strömedel och hanteringsform. Konsekvenserna av spridning på åkermark varierar beroende på dessa kvalitetsskillnader. I synnerhet fastgödsel ger ofta varierande effekt på skördeutbytet. Denna är en effekt av kolets mängd och kvalitet i relation till organiskt och oorganiskt kväve. Dessutom är det en fråga om hur effektivt man kan förhindra förluster (mera härom i nästa avsnitt).

Stallgödsel är ett organiskt gödselmedel (innehåller organiskt kol) och har därför humuseffekt. Normalt är denna per enhet torrsubstans större än av färska skörderester (exempelvis halm). Detta beror på att stallgödseln innehåller mindre mängder lättomsättbara föreningar. Dessa har i stor utsträckning brutits ner vid fodersmältningen och under lagringen. Ligninhalten blir därför högre än i färskt växtmaterial. Man kan räkna med att minst 30 % av stallgödselns organiska substans överföres till stabila humussubstanser.

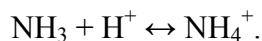
Stallgödseln är normalt rik på kväve. Beroende på om det är fråga om fastgödsel eller flytgödsel dominerar organiskt kväve eller ammoniumkväve. Betydande delar av kvävet härrör från urinämne $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. Detta hydrolyseras under bildning av NH_3 . En del proteinkväve finns också. I flytgödsel kommer kvävet i huvudsak att stanna kvar som NH_3 / NH_4^+ beroende på att omsättningen är svag i denna anaeroba miljö. I komposterad stallgödsel kommer en stor del av kvävet att avdunsta eller immobiliseras i samband med att träck och strömedel omsätts.

Kväveeffekten hos stallgödsel är svårare att få grepp om än effekten av mineralgödsel. Detta beror på att olika former av kväve ingår men i huvudsak på innehållet av organiskt material. Ibland har man byggt rådgivningen rörande växttillgängligheten hos kvävet på stallgödselets innehåll av ammoniumkväve. Detta är en ungefärlig metod, som förmodligen överskattar kväveeffekten (å andra sidan är det svårt att hitta någon invändningsfri metod). På grund av innehållet av kvävefattigt organiskt material kommer en del av ammoniumkvävet att immobiliseras. Flytgödsel innehåller föga omsatt organiskt material beroende på den anaeroba miljön. Bland annat bildas fettsyror, vilka inte innehåller något kväve. När dessa föreningar kommer i marken efter spridning (miljön blir aerob) omsätts de snabbt under immobilisering av kväve. Å andra sidan innehåller stallgödselet proteiner, vilka förosakar nettomineralisering när de bryts ner. Ofta har man funnit att kvävebalansen är kraftigt negativ på nötkreatursgårdar – det saknas mycket kväve i balansen.

Ammoniakavdunstning

Ammoniak och ammonium ingår som viktiga komponenter i markprocesser och växternas kväveförsörjning. Ammoniak är dessutom en viktig miljöfaktor. Den är benägen att avdunsta och förflytta sig med vinden och kan därför förorsaka gödslingsseffekt och förurningseffekt på fel ställe.

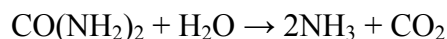
Det föreligger jämviktsförhållande mellan ammoniak och ammonium:



pK_a för denna jämvikt är 9,3. Det betyder att vid detta pH-värde föreligger hälften som NH_3 och hälften som NH_4^+ . Sjunker pH-värdet förskjuts jämvikten åt höger och vice versa. Vid pH 7 föreligger mindre än 1% som NH_3 . pH-värdet är således en viktig reglerande faktor för avdunstningen. När NH_3 avdunstar förskjuts jämvikten åt vänster så att ny NH_3 bildas. Avdunstningen förhindras således inte genom ett lågt pH-värde, men det är klart att ju högre pH-värdet är desto större är NH_3 -poolen och desto större är ammoniakavdunstningen.

I marken är pH-värdet normalt 7 eller lägre. Det betyder att halten av NH_3 är låg. Av denna anledning drabbas inte kvävegödselmedel innehållande NH_4^+ -kväve av stora avdunstningsförluster. Ammoniumkvävet reagerar med markkolloiderna. Inte heller kalkning med karbonathaltiga kalkningsmedel förorsakar stora förluster. Karbonatet förorsakar inga höga pH-värden.

Ett gödselmedel, som kan förorsaka stora ammoniakförluster är urea. I marken undergår urea hydrolys:



Denna hydrolys sker snabbt och leder till en kraftig pH-höjning (8-9). Jämvikten ammoniak/ammonium är långt förskjuten mot ammoniak – ammoniakavdunstning är ofrånkomlig. Denna förlust innebär inte bara allvarlig miljöeffekt utan också försämrade kväveeffekt av gödselmedlet. Vapnet mot avdunstning är snabb nedmyllning av urean. I marken övergår kvävet i NH_4 -form och skyddas av markkolloiderna.

Den största orsaken till ammoniakavdunstning är stallgödsel. I färsk stallgödsel finns merparten av kvävet i form av urinämne (urea). En icke obetydlig mängd finns också i proteiner. Som framgått ovan undergår urea snabb hydrolys under bildning av ammoniak. Här finns förutsättningar för stora ammoniakförluster.

Metoden för hantering av stallgödseln har stor betydelse för hur stora förlusterna blir. Flytgödsel har störst förutsättningar för att skydda ammoniaken. Man kan säga att kemin är på vår sida när det gäller ammoniakförluster från flytgödsel. Ammoniak är mycket löslig i vatten – 1 m³ vatten kan lösa 800 kg ammoniak. Dessutom är pH-värdet lägre i flytgödsel än i fastgödsel. Som riktvärde kan man säga att pH-värdet i flytgödsel är omkring 7 mot 8-9 i fastgödsel. Det låga pH-värdet i flytgödsel beror på att det i den syrefattiga miljön bildas en stor mängd fettsyror.

Det blir emellertid komplikationer i samband med och efter spridning av flytgödsel. Vatten avdunstar varvid koncentrationen av NH_3 och NH_4^+ ökar. Därigenom ökar ammoniakavdunstningen. Detta enligt Henrys lag som säger att lösligheten av gaser i vätskor vid konstant temperatur är proportionell mot gasens tryck.

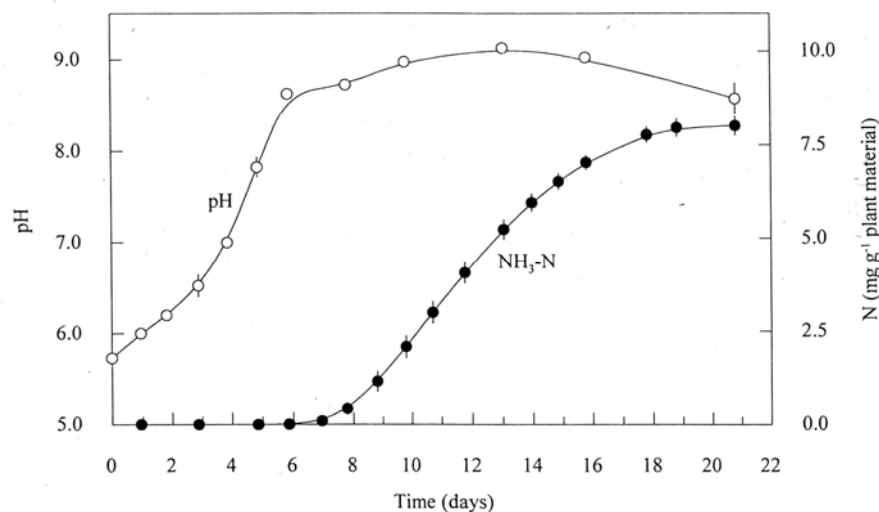
När flytgödsel efter spridning hamnar i marken vidtar biologisk nedbrytning av fettsyrorna. Dessa är mycket lättomsättbara och bryts ner. Därvid försvinner den sura komponenten ($-\text{COOH}$) under bildning av CO_2 . pH-värdet stiger och förutsättningarna för ammoniakavdunstning ökar. Den höga vattenhalten utgör naturligtvis ett hinder mot avdunstningen och en del kväve immobiliseras vid omsättning av bland annat strömedel och fettsyror.

När NH_4^+ fastnar i utbytbar form sjunker pH-värdet eftersom NH_4^+ -koncentrationen sjunker. Därvid förskjuts jämvikten så att NH_3 -koncentrationen också sjunker.

Förlusterna vid fastgödselhantering är betydligt större beroende på att urinämnet och dess nedbrytningsprodukter inte är lika skyddade för atmosfärens inverkan. Det är fritt för ammoniaken att försvinna. Förlusterna kan bli mycket stora.

Ännu större blir förlusterna när gödseln blir liggande under lång tid i djupströbäddar. Det finns inget som effektivt hindrar frigjord ammoniak att avdunsta. Urinen hamnar på relativt torr halm. Det finns således inget vatten i vilket bildad ammoniak löser sig. Halmen har visserligen stor kapacitet att immobilisera kväve men ureahydrolysen går snabbare än halmnedbrytningen, vilken är en förutsättning för immobilisering.

En annan orsak till ammoniakavdunstning är färskt växtmaterial (gräs, klöver), som ligger avslaget på marken. Så länge växten fortfarande lever fortgår de biokemiska nedbrytningsprocesserna, vilka ska leverera energi till växten. Därvid bildas CO_2 och kväve mineraliseras under bildning av NH_3 . Som en följd av ammoniakbildningen stiger pH-värdet i vävnaden. Denna ammoniak är mer utsatt för avdunstning än om materialet blir föremål för nedbrytning i marken. I marken kommer nämligen en stor del av det mineraliserade kvävet att immobiliseras av de nedbrytande mikro organismerna. När det är de enzymatiska processerna i växten som förorsakar mineraliseringen finns ingen fälla som kan fånga upp den bildade ammoniaken. Figur 5 demonstrerar sambandet mellan pH-värde och ammoniakavdunstning vid omsättning av grönmassa utan jord (Marstorp, 1995).



Figur 5. Ammoniakavdunstning från blad av *L. Multiflorum* uttryckt som en fraktion av ursprungligt växtmaterial och pH-värde i bladet under inkubation i mörker (Marstorp, 1995).

Figure 5. Influence of protein degradation and protein content in cut *L. Multiflorum* leaves on the delay in Ammonia volatilisation (Marstorp, 1995).

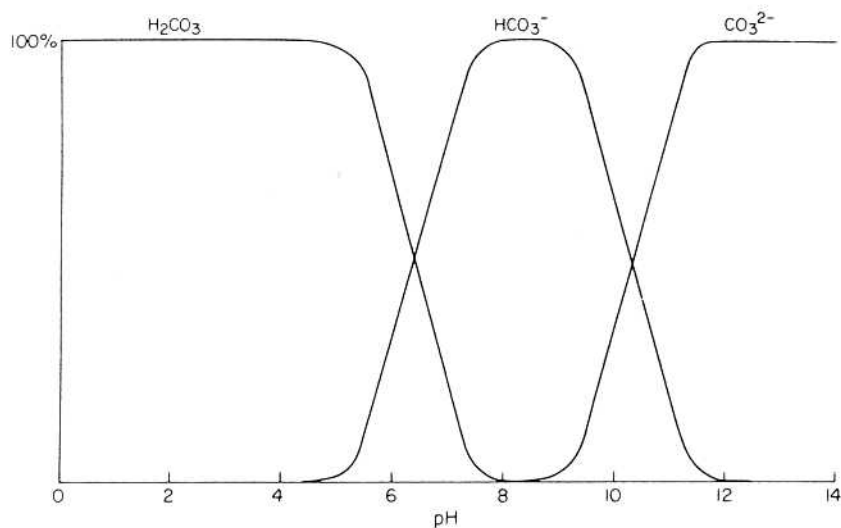
Försurning och kalkverkan – effekt av biologiska processer

Kalktillståndet är nära förknippat med markens basmättnad, dvs, förhållandet mellan baskatjoner och sura joner. Exempel på de senare är H^+ , $Al(OH)_2^+$, $AlOH^{2+}$, Al^{3+} . Sambandet mellan basmättnadsgrad och pH-värde är gott. Båda är intensitetsmått. De kan inte tala om hur mycket kalk som behöver tillföras till en viss nivå vid ett givet tillfälle. För detta krävs också ett kvantitetsmått, rätteligen CEC, men ungefärliga mått kan användas, exempelvis jordart.

Markandning. Mikroorganismernas och växtrötternas oxidation av organiskt material för utvinning av energi leder till att CO_2 -koncentrationen i marken ökar. En del av den i markvattnet lösta koldioxiden reagerar med vattnet och bildar den svaga syran kolsyra, H_2CO_3 . En del av kolsyramolekylerna dissocieras i vätejoner (H^+) och bikarbonatjoner (HCO_3^-). En del av bikarbonatjonerna kan dissocieras i vätejoner och karbonatjoner (CO_3^{2-}). Reaktionerna kan sammanfattas enligt följande:



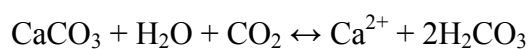
I vilken riktning reaktionerna inom systemet går bestäms av det aktuella pH-värdet. Figur 6 visar jämviktsförhållandet mellan de olika former, i vilka koldioxid förekommer i vatten. Vid pH 7 är förekomsten av koldioxid delad ungefär i proportionen 20 % CO_2 och 80 % bikarbonat. Vid pH 5.5 är mindre än 10 % i form av bikarbonat och resten i form av koldioxid. Kolsyrans dissociation leder till bildning av H^+ -joner och HCO_3^- -joner. Väte-jonen byts in på kolloidkomplexet och ersätter katjoner, främst Ca^{2+} . Dessa bildar lösliga föreningar med HCO_3^- -joner. Bildad $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ är löslig och lakas ut. Därmed har en försurning av kolloidkomplexet åstadkommit. Som en följd av detta blir också markvattnet surare. Det framgår av figuren och diskussionen att koldioxid har betydelse för försurningen endast vid höga pH-värden.



Figur 6. Grafisk framställning som visar de tre former koldioxid kan föreligga i och proportionerna mellan dessa vid olika pH-värden.

Figure 6. Distribution of aqueous CO_2 species in relation to pH.

Kolsyran medverkar också vid upplösning av CaCO_3 i marken, där sådant förekommer. Upplösningen sker enligt följande reaktionsformel:



Denna reaktion leder inte till att kolloidkomplexets Ca-mättnad påverkas så länge det finns ouplöst karbonat kvar i marken. Därför sjunker inte heller pH-värdet. Ca-utlakningen blir kraftig.

Kvävets mineralisering (ammonifikation): Kvävets mineralisering leder till bildning av NH_3 : Protein \rightarrow aminosyror \rightarrow NH_3 . Denna process innebär ingen kalkverkan, vare sig positiv eller negativ. Men i marken med relativt lågt pH-värde reagerar NH_3 med H^+ under bildning av NH_4^+ . Slutresultatet blir kalkverkan.

Nitrifikation: Oxidation brukar åtföljas av pH-sänkning. Detta gäller också om nitrifikationen:



För varje N som oxideras bildas 2 H^+ . Ett kg NH_4^+ -N förorsakar en försurning motsvarande 4 kg CaO.

Denitrifikation: I marken har denitrifikationen kalkverkan. Det åtgår en H^+ -jon för varje reducerad nitratjon:



Växternas näringsupptag: Generellt och något förenklat gäller att växtupptag av en katjon innebär försurning eftersom en H^+ -jon avges av växten när katjonen tas upp. Å andra sidan medför upptag av en anjon kalkverkan eftersom en OH^- -jon eller en HCO_3^- -jon avges. Normalt tar växten upp mer katjoner än anjoner. Sammantaget innebär därför växtupptaget försurning (Pierre et al., 1973). Relationen mellan upptagna katjoner och anjoner i växten brukar betecknas som basöverskott (excess base, EB). Man kan demonstrera basöverskottet genom att föraska växtmaterialet. Slammar man upp askan i vatten och mäter pH-värdet finner man att detta är högt. I växten måste naturligtvis elektroneutralitet råda. Därför syntetiserar växten organiska anjoner – organiska syror. När den organiska substansen bryts ner av mikroorganismer försvinner dessa organiska syror. I stället bildas oxider och bikarbonater, vilka representerar växtmaterialets kalkverkan.

Olika växter och olika växtdelar har olika basöverskott. Tabell 2 visar några exempel på växtmaterial med olika basöverskott. Man kan konstatera att baljväxter är kraftigt försurande och att halmen är mer försurande än kärnan. Det sistnämnda hänger ihop med att huvuddelen av katjonerna, Ca och K, finns i halmen samtidigt som anjonen fosfor i huvudsak finns i kärnan.

Tabell 2. Några gröders basöverskott (exkl. kväve). CaO, kg ton⁻¹ ts (G:dotter Beck-Friis & Bäckman, 1988)

Table 2. Excess base (EB) of some crops (G:dotter Beck-Friis & Bäckman, 1988)

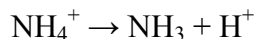
Växtmaterial <i>Plant material</i>		CaO
Stråsäd <i>Cereal</i>	Kärna <i>Grain</i>	0,6
	Halm <i>Straw</i>	9,2
Gräsvall <i>Grass</i>		10,7
Klövervall <i>Clover</i>		45,5

Om skördeprodukterna avlägsnas kvarstår den förurning, som näringsupptaget åstadkommit. Om de däremot återföres till åkern och brukas ner återställs näringsbalansen och kalkbalansen. Av detta följer att stråsäden förorsakar liten förurning om halmen inte bärgas utan brukas ner. Förurningen blir stor om man av någon anledning för bort en baljväxtgröda. Om skörden används till foder och om stallgödseln sprids på åkern återställs balansen.

Stallgödselns kalkverkan: Stallgödselns kalkeffekt är komplex. Sammansättningen varierar och många processer är involverade. Man kan emellertid finna ett grundkoncept, som kan ligga till grund för beräkningar när det gäller kalkeffekt hos stallgödsel. I detta grundkoncept är kolet, kvävet och metallkationerna centrala.

I stallgödsel finns kvävet ursprungligen i organisk form och i urinämne (urea). Mineralisering av organiskt kväve och hydrolys av urinämne resulterar i kalkverkan. Bildad ammoniak reagerar med 1 H⁺ under bildning av NH₄⁺. Detta betyder kalkverkan motsvarande neutralisation av 1 H⁺. Denna kalkverkan måste finnas kvar i stallgödseln på något sätt. I marken kan ammonium oxideras till nitrat. Detta betyder förurning motsvarande 2 H⁺. Nitratet kan tas upp av växten, vilket betyder kalkverkan motsvarande neutralisation av 1 H⁺. Om dessa processer fungerar perfekt har urinämnet och det organiska kvävet ingen kalkverkan eller förurningseffekt. Men det finns komplikationer. Om ammoniumkvävet immobiliseras i samband med omsättning av organiskt material i stallgödseln erhåller man en försurande verkan, som består om inte kvävet remineraliseras. Någon nettoförändring är det dock inte fråga om eftersom man erhöill motsvarande kalkverkan när ammoniumkvävet bildades. Förurning i matjorden erhålles dock om bildat nitrat lakas ut i stället för att tagas upp av växten. Om nitratet lakas ner i

alven och tages upp därifrån får man en kalkeffekt där. Förurning får man också om ammoniak avdunstar.



Detta kan bli en stor post eftersom avdunstningen kan vara stor från stallgödsel. På grund av dessa processer måste man räkna med att urea och proteiner har en viss försurande effekt i stallgödsel.

Precis som i växtbiomassan finns ett basöverskott i stallgödseln. Detta är en kraftigt bidragande orsak till att stallgödseln normalt har en positiv kalkverkan. Som riktvärde kan man ange en kalkverkan om 3 kg CaO per ton stallgödsel. Vi har anledning att återkomma till detta senare.

Oxidation av reducerat svavel: En del mulljordar innehåller betydande mängder reducerat svavel. I samband med odling och i synnerhet i samband med kalkning oxideras detta svavel under bildning av svavelsyra. Detta kan innebära en kraftig förurning. För att kunna ta hänsyn till svavelinnehållet vid planering av kalkning utarbetade Svenska Mosskulturföreningen en metod för kalkbehovsbestämning avsedd för mulljordar. Enligt denna bestämmer man totala mängden utbytbar Ca^{2+} , omräknat till CaO. Denna mängd reduceras med mängden svavel omräknat till SO_3 . Resultatet av denna subtraktion kan bli positiv eller negativ beroende på mängden reducerat svavel. Detta betecknas som nettokalkmängd. Ett stort antal fältförsök visade att nettokalkmängden bör vara 4-6 ton per hektar.

Ammoniumfixering

Ammoniumfixering är ingen biologisk process, men tas kortfattat upp för fullständighetens skull. Ammoniumjonen är positivt laddad. Precis som andra positiva joner kan den bindas i utbytbar form vid markens kolloider (ler och humus). I denna form är kvävet tillgängligt för växten. NH_4^+ kan emellertid bindas hårdare genom att det binds mellan lerskikten (fortfarande med elektrostatiske bindningar). Det är framför allt i illitiska lermineral som detta inträffar. Det fixerade ammoniumkvävet är endast i liten utsträckning tillgängligt för växterna. Kalium reagerar på liknande sätt.

Tabell 3. Skördat gödselkväve (ammonium och nitrat, kg ha^{-1}) vid övergödning med isotopmärkt ammoniumnitrat
Table 3. Fertilizer nitrogen uptake after broadcasting ^{15}N -labelled ammonium nitrate

Försöksgödsling <i>Fertilizer</i>	Från N28		Från kalksalpeter <i>From $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$</i>
	NH_4 -delen <i>NH_4-part</i>	NO_3 -delen <i>NO_3-part</i>	
60	1,8	10,0	21,4
120	5,3	20,7	38,8

Vilken betydelse ammoniumfixering har för växternas kväveförsörjning är osäkert. Det är känt att man måste tillföra mer kväve om man använder ammoniumnitrat än om man använder kalksalpeter när man tillför gödselmedlet som övergödning. Detta kan vara orsakat av ammoniumfixering. Om så är fallet kan stora mängder fixerat ammoniumkväve finnas på jordar där man under lång tid använt N28 som kvävegödselmedel.

En annan förklaring kan vara att ammoniumkväve utnyttjades dåligt av grödan på grund av att det adsorberades i markytan i utbytbar form. Det är ju vid övergödning som det föreligger skillnad mellan de båda gödselmedlen. Att adsorption kan vara en realitet visades under en följd av år i försök där isotopmärkt kväve kom till användning. Sommaren var torr under samtliga år. Exempel på resultat från undersökningen visas i tabell 3.

Det är tydligt att ammoniumkvävet inte togs upp av grödan. Det blev kvar på ytan. En liten mängd regn räckte inte för att grödan skulle komma åt ammoniumkvävet. Samma mängd regn räckte däremot till för att föra ner nitratkvävet till rotzonen. Det var möjligt att extrahera ut icke upptaget mineralkväve med KCl från jorden. Det visar att det inte var fråga om fixerat kväve utan om utbytbart ammoniumkväve (Persson et al., 1975)

Sammanfattning

Inledning

Tack vare undersökningar under lång tid och i flera länder känner man väl de processer som reglerar kvävet tillgänglighet. Man känner exempelvis hur temperatur och fuktighet inverkar och man känner vilka organismgrupper som är verksamma i olika situationer. Problemet är att odlaren inte

känner effekten av dessa faktorer när han ska fatta beslut om exempelvis gödsling. Ändå måste beslut fattas. Det måste bli en bedömning. Med hjälp av känd kunskap om nedbrytning/immobilisering i relation till N-halt, stabilisering och remineralisering kan man trots allt göra en rimlig bedömning.

Uppbyggnad och nedbrytning av organisk substans

Principerna för kolets kretslopp är väl kända. Genom fotosyntesen binds atmosfärens koldioxid under bildning energirik organisk substans. När den organiska substansen byggs upp tar växten, förutom kol från atmosfären kväve och andra näringsämnen från marken via rotsystemet.

Den organiska substansen kan åter brytas ner under bildning av koldioxid och vatten. Man säger att kolet mineraliseras. Den organiska substansen utnyttjas då som energikälla av mikroorganismer, växter och djur. Utvecklingen av koldioxid är ett uttryck för energiutnyttjande. Olika komponenter i den organiska substansen bryts ner olika snabbt. Inte bara kolet utan också kvävet mineraliseras. Därvid bildas ammoniak.

Humusbildning

Kortsiktigt mineraliseras inte allt kol i den organiska substansen. Omsättningen av det organiska materialet leder till att en del kol stabiliseras – det bildas humussubstanser. Inte enbart kolet stabiliseras utan också kvävet. I själva verket är humussubstanserna rika på kväve. Man kan räkna med att omsättningen resulterar i att motsvarande 20-25% av torrsubstansen i färsk växtrester återfinns i stabilt material. Stallgödsel ger ett större utbyte av humus. Humuskvävet utgör markens kväveförråd. Här finns nästan allt kväve i marken (4-8 ton per hektar). Mineraliseringen av kväve leder till att 60-100 kg kväve per ha årligen frigöres för växternas försörjning.

Nitrifikation

När kvävet mineraliseras bildas ammoniak. Ett par mycket specialiserade bakteriearter oxiderar ammoniakkvävet till nitrat. Dessa är specialiserade därför att de inte använder organisk substans som energikälla i likhet med flertalet andra mikroorganismer. De använder i stället ammoniakkväve som energikälla. De är också specialister därigenom att de inte använder

organiskt material som kolkälla. I stället använder de bikarbonat. Om det finns mineralkväve i marken, som inte behövs av mikroorganismerna samlas detta i en nitratpool. Nitratet är således slutstation för mineralkvävet.

Nettoeffekt av kvävet mineralisering och immobilisering

Det har redan sagts, att omsättning av organiskt material innebär att inte endast det organiskt bundna kolket bryts ner och mineraliseras. Också kvävet är föremål för omsättning och mineralisering. Kvävet mineralisering leder till bildning av ammoniak, vilket kan oxideras till nitrat. Nitratbildningen är dock inte en del av mineraliseringen. Kvävet kretslopp i marken omfattar inte endast mineralisering. En lika viktig process är immobilisering (fastläggning) av kväve. För mikroorganismernas tillväxt och förökning behöver dessa kväve. Om det inte finns tillräckligt i det organiska materialet, som är föremål för nedbrytning tas detta från mineralkvävet i marken (immobilisering). Samtidigt pågår nedbrytning av organiskt material, vilket leder till mineralisering av kväve. Mineralisering och immobilisering pågår inte alltid med samma hastighet. Ett kväverikt material innehåller mer kväve än vad mikroorganismerna behöver. Omsättningen av ett sådant material leder till nettomineralisering. Om det organiska materialet är kvävefattigt blir resultatet i stället nettoimmobilisering. Humussubstanserna är ett stabilt material, som dessutom är kväverikt. Det betyder att omsättning av humussubstanser alltid resulterar i nettomineralisering, vilken emellertid går långsamt på grund av materialets stabilitet.

Remineralisering

Den biologiska omsättningen leder till att kväve immobiliseras. Om det rör sig om kvävefattigt organiskt material som omsätts sker en nettoimmobilisering. Det är relevant att fråga sig när detta kväve kommer tillbaka. Svaret är att på grund av humusmaterialets stora stabilitet kommer det att ta lång tid. Man kan således inte hoppas på att kväve som fastlagts på hösten vid halmomsättning kommer tillbaka i nämnvärd omfattning påföljande vår.

Denitrifikation

Det finns flera bakteriearter i marken som har förmåga att överföra nitrat till gasformiga kväveföreningar. Bakterier som normalt lever i en syrerik miljö använder syret vid sin andning. Vid syrebrist kan dessa bakterie-

grupper övergå till att använda kväve i sin andningsprocess. Nitratkvävet överföres då till kväveoxider eller till fritt kväve. Denitrifikationen kan medföra betydande kväveförluster. De är emellertid svåra att kvantifiera eftersom förutsättningarna varierar inte bara över tiden utan också inom det enskilda fältet på korta avstånd.

Stallgödsels kväve- och humuseffekt

Stallgödsel omfattar ett stort antal kvaliteter beroende på djurslag, strömedel och hanteringsform. Resultatet av spridning på åkermark varierar beroende på dessa kvalitetsskillnader. Det är en effekt av kolets mängd och kvalitet i relation till organiskt och oorganiskt kväve. Stallgödsel är ett organiskt gödselmedel (innehåller kol) och har därför humuseffekt. Kväveeffekten hos stallgödsel är svårare att få grepp om än av mineralgödsel. Detta beror på att olika former av kväve ingår men i huvudsak på innehållet av organiskt material. Ibland har man byggt rådgivningen på innehållet av ammoniumkväve. Detta är en ungefärlig metod, som förmodligen överskattar kväveeffekten. På grund av innehållet av kvävefattigt organiskt material kommer en del av ammoniumkvävet att immobiliseras. Flytgödsel innehåller föga omsatt organiskt material beroende på den syrefattiga miljön. Bland annat finns det fettsyror vilka är fria från kväve och förorsakar immobilisering när flytgödseln kommer i syrerik miljö efter utspridning.

Ammoniakavdunstning

Ammoniak och ammonium ingår som viktiga komponenter i markprocesser och växternas kväveförsörjning. Ammoniak är dessutom en viktig miljöfaktor. Den är benägen att avdunsta och förflytta sig. Det föreligger jämviktsläge mellan ammoniak och ammonium vilket är beroende av pH-värdet. Sjunker pH-värdet förskjuts jämvikten mot ammonium och vice versa. Vid pH 7 föreligger mindre än 1 % som ammoniak. pH-värdet är således en viktig faktor för att reglera avdunstningen. I marken är pH-värdet normalt under 7. Det betyder att andelen ammoniak är låg. Gödselmedlet urea ger upphov till mycket högt pH-värde. Här föreligger således stor risk för avdunstning.

Den största anledningen till ammoniakavdunstning är stallgödsel. I färsk gödsel finns merparten av kvävet i form av urinämne (urea). Här finns stora förutsättningar för avdunstning. Omsättningen av strömedel (halm) går inte snabbt tillräckligt för att kvävet ska hinna immobiliseras. I flytgödsel är pH-värdet lågt på grund av förekomsten av fettsyror. Men när dessa kom-

mer i marken där syretillgången är god omsätts fettsyror och pH-värdet stiger.

En annan orsak till ammoniakavdunstning är färskt växtmaterial, som ligger avslaget på ytan. Så länge växten lever fortgår de biokemiska nedbrytningsprocesserna, vilka ska leverera energi till växten. Därvid omsätts materialet under bildning av ammoniak. Som en följd av detta stiger pH-värdet och ammoniaken avdunstar.

Försurning och kalkverkan

Kalktillståndet är nära förknippat med basmättnadsgraden, d.v.s. förhållandet mellan basatjoner och sura joner.

Flera biologiska processer har inverkan på kalktillståndet. Markandningen leder till bildning av koldioxid. Denna reagerar med vatten och bildar kolsyra som är en svag syra. Vid högt pH-värde har den försurande effekt i marken.

Kvävets mineralisering leder till bildning av ammoniak, som kan ta till sig en vätejon. Den har således kalkverkan.

Nitrifikation leder till bildning av salpetersyra. Man erhåller en försurning.

Denitrifikation har kalkverkan.

Växternas näringsupptag innebär att växten tar upp fler basiska metallkationer än sura anjoner (växten har ett positivt basöverskott). Resultatet blir en försurning.

Normalt har stallgödsel kalkverkan. Det beror på att stallgödsel har stort basöverskott. Men det förekommer komplicerade samspel. Ammoniakavdunstning och immobilisering av kväve kan förrycka resultatet.

Erkännande

Uppsatsen har tillkommit inom ramen för en arbetsgrupp vid Kungliga Skogs- och Lantbruksakademien. Värdefulla synpunkter har lämnats av gruppens medlemmar: Göte Bertilsson, Tord Eriksson och Karl-Ivar

Kumm. Detta gäller också om Lennart Mattsson, som dessutom gjort ett förtjänstfullt redigeringsarbete.

Referenser

- Bartholomew, W.V. 1965. Mineralization and immobilization of nitrogen in the decomposition of plant and animal residues. In: Soil nitrogen (W.V. Bartholomew and F.E. Clark, eds). Agronomy, Monograph No 10, 285-306.
- Björnsson, S., Carlsson, C. & Ericsson, Å. 1998. Nitrogen movements in the soil using different energy sources. Lab. Övningar. Inst.för markvetenskap. Avd. För växtnäringslära.
- Carlgren, K. & Mattsson, L. 2001. Swedish soil fertility experiments. Acta Agr. Scand. 51, 49-78.
- Christensen, S. 1980. Percolation studies on denitrification. Acta Agr. Scand. 30, 226-236.
- Christensen, S. 1983. Nitrous oxide emission from the soil surface: Continuous measurement by gas chromatography. Soil Biol. Biochem. 15:4, 481-483.
- Christensen, S. 1984. Tab af kvaelstof til luftform ved denitrifikation. Statens Planteavlsforsøg Med. 1803.
- Flaig, W. 1966. The chemistry of humic substances. In: The use of isotopes in soil organic matter studies. Rep. of the FAO / IAEA Technical meeting, 9-14 Sept. 1963. Pergamon Press.
- G:dotter Beck-Friis, & Bäckman, C. 1988. Grödans bidrag till markens förurning. Ex.arb. Inst. för markvetenskap, Avd. för växtnäringslära.
- Kirchmann, H., Persson, J. & Carlgren, K. 1994. The Ultuna long-term soil organic matter experiment, 1956-1991. Monograph. Dept. of soil sci. Rep.and Diss. 17.
- Jansson, S.L. 1958. Tracer studies on nitrogen transformations in soil with special attention to mineralisation – immobilization relationships. Kungl. Lantbr.högsk.annl. 24, 105-359.

- Jansson, S.L. 1961. Är träavfall växtskadligt? Lantmannen 18.
- Jansson, S.L. 1968. On the role of immobilized fertilizer nitrogen in the long-term nitrogen economy of cropped soil. Festskrift for Hans Laurits Jensen.
- Jenkinson, D.S. 1977. Studies on the decomposition of plant material in soil. V. J. of Soil Sci, 28, 424-434.
- Jensen, E. S. 2000. Prospects for manipulating crop residues to control nitrogen mineralisation –immobilisation in soil. Kungl. Skogs.- o Lantbr.- akad. Tidskr. 139: 8, 25-42.
- Marstorp, H. 1995. Influence of protein degradation and protein content in a cut L. Multiflorum leaves on a delay in ammonia volatilisation. Swedish J. Agr. Res. 25, 179-183.
- Paul, E.A. & Juma, N.G. 1981. Mineralization and immobilization of soil nitrogen by microorganisms. In: Terrestrial nitrogen cycles (eds. Clark F.E. & Rossvall, T.). Ecol. Bull. 33: 179-195.
- Persson, J. 1978. Kulturåtgärdernas inverkan på markorganismerna – markvård eller markförstöring. Kungl. Skogs.- o Lantbr.- akad. Tidskr. 117, 43-48.
- Persson, J. 1985. Grödornas kväueupptagning från olika markdjup. Betodlaren 3, 192-119.
- Persson, J., Johansson, O. & Jónsson, L. 1975. Kvävehushållning vid användning av ammoniumhaltiga gödselmedel. SLU, Inst. för markvetenskap, Avd. för växtnäringslära, Rapport 95.
- Persson, J. & Mattsson, L. 1993. Effekt av förfrukt och växtföljd på markens kväveleverans. Norsk Landbruksforskning. Suppl. Nr 16, 63-70.
- Piccolo, A. Nardi, S. & Coneheri, G. 1996. Micelle-like conformation of humic substances as revealed by size chromatography. Chemosphere. 33, 595-602.
- Pierre, W.H. & Banwort, W.L. 1973. The excess-base ratio of various crop species and of parts of plants. Agron. J. 65, 91-96.
- Stevenson, F.J. 1986. Cycles of soils. John Wiley & Sons.

Virdung, Ch. 1982. Gödslad torv som odlingssubstrat.–. Kväveinnehållets förändring vid lagring. Kons. avd. Rap. Trädgård 226.

Öhrn, S. 1998. Nötkreatur på barkbädd – bäddens kemiska och biologiska egenskaper samt användbarhet som kvävegödselmedel. Ex.arb. i växtnäringslära nr 110. SLU. Inst för markvetenskap.

Markbiologiska övningsexempel

Material till följande uppgifter har insamlats under lång tid. De äldsta uppgifterna hänför sig till 1960-talet. Trots detta har de en markbiologisk relevans även för dagens situation. Uppgifterna har tillkommit på olika sätt. Frågor från gamla studenter, rådgivare och lantbrukare har tagits till vara. Det är vidare material från fältförsök, från doktorsarbeten och från examensarbeten. För diskussion av de presenterade uppgifterna krävs kunskap motsvarande innehållet i den teoretiska delen av detta dokument. För relevanta litteraturuppgifter hänvisas i förekommande fall till detta avsnitt.

1. Vad menas med ett organiskt gödselmedel?

Frågan är inte speciellt viktig, men för förståelsen av ett organiskt gödselmedels funktion och betydelse kan en distinkt definition vara av värde. Man kan inte definiera ett organiskt gödselmedel med att näringsämnena föreligger i organisk form. Flertalet organiska gödselmedel har nämligen en del eller ofta merparten näringsämnen i oorganisk form. Några exempel: Merparten av fosfor i stallgödsel föreligger som ortofosfat. I flytgödsel finns 70 % av kvävet i ammoniumform. I rötslam föreligger nästan all fosfor i form av aluminiumfosfater eller järnfosfater. Gröngödsel är ett gödselmedel vars kväve och fosfor föreligger i organisk form, däremot gäller inte detta om metallkationerna.

Ett organiskt gödselmedel definieras i stället som ett gödselmedel som innehåller omsättbara organiska föreningar. Definitionen ska således knytas till innehållet av C. Den organiska substansen förorsakar en biologisk aktivitet, som kan leda till mineralisering eller immobilisering av näringsämnen.

En annan fråga är vilka organiska substrat som ska räknas som gödselmedel. Det ligger nog i sakens natur att ett gödselmedel ska tillföra näringsämnen. Därför kan halm knappast räknas som gödselmedel. Inte heller torv. Dessa substrat ska snarare betraktas som jordförbättringsmedel.

2. Urea är en organisk förening som används som kvävegödselmedel.

- Vad skiljer urean från andra organiska gödselmedel?*
- Kan urea-C användas som energikälla av mikroorganismerna?*
- Jämför pH-effekten av urea och ammoniumsulfat.*

Fysikaliskt liknar urean närmast ett mineralgödselmedel. Detta gäller metodik för lagring och spridning. Koncentrationen av kväve är mycket högre i urea (46 %) än i konventionella organiska gödselmedel, exempelvis stallgödsel. Allt kväve i urea mineraliseras snabbt. Så är icke fallet med flertalet andra organiska föreningar. Urean innehåller endast ett näringsämne, nämligen kväve. Andra organiska gödselmedel innehåller alla näringsämnen.

Kolet i urea kan inte användas som energikälla av mikro-organismerna. Det finns inga C – C bindningar.

I marken förorsakar urea pH-höjning och ammoniumsulfat pH-sänkning. Inget av kolet och kvävet stabiliseras i humussubstanter.

3. Hydrolysen av urea sker snabbt. Urea är således ett snabbverkande kvävegödselmedel. Genom att koppla ihop urea med andra organiska föreningar (ureaform, metylurea) kan hydrolysen fördröjas. Man erhåller ett långsamverkande gödselmedel. Var kan ett sådant gödselmedel tänkas ha användning?

Det finns flera långsamverkande gödselmedel baserade på urea. De fungerar som tänkt men de är dyra och passar därför inte i konventionellt lantbruk. En viktig tillämpning kan vara golf-greeners. Dessa gödslas nästan dagligen. Detta kräver en stor arbetsinsats, som kan minskas om man gödslar med större tidsintervall. Trots denna fördel har dessa gödselmedel inte fått allmän spridning på golfbanorna.

4. I samband med att man började skördetröska konservärter i stället för att utföra tröskningen vid fabrikerna (detta skedde i slutet av 1960-talet) utlades fältförsök för att belysa vilken kväveeffekt ärtreven har om den brukas ner. Ca 20 fältförsök lades ut. Skörden av konservärter sker i juli-augusti varefter fältet besås med höstvet eller höstraps.

I försöken nedbrukades 30 ton grönmassa per hektar motsvarande 7 ton torrsubstans. Kvävehalten i torrsubstansen var ca 3%. Med ärtreven nedbrukades således ca 200 kg N per hektar. Försöksresultaten visade att endast ca 40 kg av detta kväve unyttjades av de tre närmast följande grödorna (av vilka den första var höstsådd).

A. Ange (där det är möjligt kvantitativt) vilka vägar resten av kvävet kan ha tagit.

B. Skulle resultatet bli avsevärt annorlunda om bortförseln baserats på fem i stället för tre skördar?

C. Ett annat färskt material, som ofta brukas ner i södra Sverige är sockerbetsblast. Vad avser N-halt och omsättbarhet liknar den ärtrev. Gör en jämförelse av substraten vad avser risken för kväveutlakning efter nedbrukning.

D. Sockerbetsblasten har i dag lägre N-halt än den hade för några decennier sedan. Vad är anledningen till detta?

- A. Kvävet kan bindas i humussubstanser. Efter nedbrukning bryts det färska materialet ner snabbt. Den biologiska aktiviteten är hög i samband med nedbrytningen. Kväveomsättningen är livlig (mineralisering / immobilisering). Det färska materialet förbrukas snabbt och den biologiska aktiviteten minskar. Omsättningsprocessen leder till att kväve stabiliseras i humussubstanser. Man kan räkna med att 20% av torrsubstansen stabiliseras i humussubstanser och att dessa innehåller 5-6 % N.

Tillfört:	200 kg N i 7 ton torrsubstans	
Humusbildning:	(20 % av torrsubstansen)	1400 kg
5-6 % N i humus:	70-80 kg N i humus	
Balans	Tillfört	200 kg N
	Grödan	- 40 kg N
	Humus	- 80 kg N
	Saknas	80 kg N

Utlakning

Denitrifikation. Ärtreven brukas ner så tidigt att kvävet hinner mineraliseras och nitrifieras under hösten. En hög biologisk aktivitet gynnar denitrifikationen, vars storlek också beror på höstregnen. I det aktuella fallet kan man inte bortse från denitrifikationsförluster. Någon standardmetod för att bestämma denitrifikationen i det enskilda fallet finns inte.

Avdunstning. Om grönmassan blir liggande kvar på ytan måste man räkna med att en del kväve avdunstar. Växternas egna

enzymer gör att nedbrytningen av organisk substans fortsätter varvid kväve mineraliseras under bildning av ammoniak. Någon mikrobiell immobilisering inträffar knappast utan kvävet stannar kvar som NH_4^+ / NH_3 . pH-värdet stiger kraftigt med NH_3 -avdunstning som följd. Under gynnsamma betingelser startar denna efter ca en vecka.

- B. Nej. Omsättningen är i stort sett avslutad efter 1-2 år. Någon ytterligare N-mineralisering som följd av omsättning av den färska reven kan man inte räkna med därefter. Däremot erhåller man en viss remineralisering av stabiliserat kväve:

År 1	10-15% av 80 kg	8-10 kg
År 2	3% av 70 kg	2 kg
År 3	3% av 68 kg	2 kg
	osv.	

- C. Sockerbetsblasten liknar ärtreven vad avser omsättbarhet och N-halt. Mineraliseringen går snabbt. Betblasten plöjes ner senare. Det har blivit kallare i marken. Man kan förmoda att nedbrytningen inte hunnit fullbordas innan vinterns inträde. Detta bidrar till att minska utlakningen. Man sår en höstgröda efter ärtorna. En del av det mineralsierade kvävet tas upp av denna. Detta bidrar också till att minska utlakningen. Höstrapsen kan ta upp mycket kväve på hösten. Däremot är upptaget litet på hösten med en höstvetegröda.

Sockerbetorna utgör dessutom ett skydd mot utlakning eftersom de växer länge på hösten, men framför allt därför att de ”rensar” marken från kväve långt ner i profilen detta har naturligtvis inget att göra med nedbrukning av blasten (Persson, 1985).

- D. Man gödslar sockerbetorna mindre med kväve i dag än man gjorde tidigare (120 kg per hektar rekommenderas). Kvävegivan har stor inverkan på blastskörden men också på blastens N-halt. Tidigare användes ofta blasten som foder. När så var fallet rekommenderades en högre kvävegiva (blasten var ett högvärdigt foder). Numera används inte blasten för foder. Danisco (tidigare Sockerbolaget) har länge bedrivit en kampanj mot för höga kvävegivor. Detta har haft effekt. Anledningen till att man vill undvika för stora kvävegivor är att det bildas ”skadliga” kväveföreningar, vilka gör att det blir svårare att utvinna sockret. Ett mått på skadligt kväve är det så kallade

blåtalet – i analysen reagerar ett färgämne med aminokväve, därav namnet.

5. År 1984 tvingades många jordbrukare i norra Uppland att på grund av dåligt väder plöja ner vårveteskörden. Problemet upprepades på vissa platser år 1988. Hur påverkar detta behovet av kvävegödsling till nästa års vårsäd?

Inga uppgifter om skördens storlek och skördeprodukternas kvävehalt finns tillgängliga. Beräkningarna får bygga på rimliga antaganden.

4000 kg/ha kärna med 2% N ger	80 kg N
Humusbildning (20% av torrsubstansen)	800 kg humus
6% N i humus	50 kg N
Överskott för kommande gröda	30 kg N (37% av ursprunglig mängd)
4000 kg/ha halm med 0,5% N ger	20 kg N
Humusbildning (20% av torrsubstansen)	800 kg humus
6% N i humus	50 kg N
Brist	30 kg N

Kärnans nettomineralisering äts upp av halmens nettoimmobilisering

Konsekvensen blir att man inte kan räkna med någon kortsiktig kväveeffekt av den nedplöjda grödan.

Kontroll. Enligt litteraturuppgifter kan ett ton halm binda 7 kg N vid omsättningen. Halmen innehåller själv 5 kg N. Bildade humussubstanser kommer således att innehålla 12 kg N per ton halm. Omräknat till 4 ton halm stabiliseras 48 kg N, dvs. samma mängd som beräkningen ovan.

En svårighet med beräkningen är att veta hur väl nedbrytningen av kärna och halm är synkroniserade med varandra.

Kärlförsök för att demonstrera effekten av kärna och halm.

N-tillförsel:	Kärna	30 g	1,31% N	393 mg N
	Halm	30 g	0,5% N	150 mg N

Försöksplan:	Kontroll	0 mg N
	30 g kärna	393 mg N
	30 g halm	150 mg N
	30 g kärna+30 g halm	543 mg N
	NH ₄ NO ₃	700 mg N

Resultat

Led	Ts-skörd, g	N,%	mg N
Kontroll	12,6	1,10	138,6
Kärna	18,2	1,12	203,8
Halm	2,9	1,67	48,4
Kärna+Halm	9,1	1,30	118,0
NH ₄ NO ₃	18,9	3,02	570,0

Effekt av	Kärna	203,8–138,6= 65,2
	Halm	48,4–138,6 = –90,2
	Kärna + Halm	118,0–138,6= –20,6

Kommentar: Kärna + Halm gav lägre skörd än kontrolleret.
Den låga halten av kväve i kärnan hade naturligtvis betydelse för resultatet.

6. Under loppet av 25 år har i ett försök tillförts totalt 560 ton stallgödsel per hektar. Jordanalys av försöksled utan och med stallgödsel gav följande resultat:

	Org, C, %	pH	CEC, me 100 ⁻¹ g	Basmättnad, %
Utan stallgödsel	1,25	5,9	17,2	84
Med stallgödsel	1,90	6,1	18,4	92

A. Vilken kalkverkan, kg CaO per ton, hade stallgödseln i detta försök?

B. Vilken CEC hade de humussubstanser, som bildades av stallgödseln?

C. Kan man förvänta sig samma kalkverkan av svingödsel som av nötgödsel?

A. Baskatjoner i jorden:

Utan stallgödsel	$0,84 \times 17,2 = 14,45 \text{ me } 100^{-1} \text{ g jord}$
Med stallgödsel	$0,92 \times 18,4 = 16,93 \text{ me } 100^{-1} \text{ g jord}$
Ökning pga stallgödsel	$16,93 - 14,4 = 2,48 \text{ me } 100^{-1} \text{ g jord}$

Ökning av baskatjoner
beräknat som CaO: $2,48 \times 28 = 69,44 \text{ mg } 100^{-1} \text{ g CaO}$
 $69,44 \times 25^a = 1736 \text{ kg/ha CaO}$

^aBaserad på volymvikt 1,25 och 20 cm plöjningsdjup

Fördelat på 560 ton stallgödsel 3,1 kg CaO per ton

Fördelning av baskatjoner, me 100^{-1} g jord

	K	Mg	Ca
Utan stallgödsel	0,5	1,2	12,7
Med stallgödsel	1,0	1,8	13,9

Kalium ökade mest som följd av stallgödsel, en logisk följd av att stallgödsel är rik på kalium.

B. CEC i nybildade humussyror:

100 g jord			
Utan stallgödsel	1,25 g C	2,12 g humus	17,2 me
Med stallgödsel	1,90 g C	3,23 g humus	18,4 me

Ökning i humus $3,23 - 2,12 = 1,11 \text{ g humus}$ 1,2 me

Skillnad i CEC (1,2 me) beror på skillnad i humus (1,11 g humus)

100 g nybildad humus: $100 \times 1,2 / 1,11 = 108 \text{ me}$

Det erhållna värdet på de nybildade humussubstanserna är i lägsta laget. I allmänhet brukar man säga att CEC för den organiska substansen är 200-300 me/100 g.

Basöverskottet i stallgödseln:

Neutraliserar nybildade humussyror (ökat CEC)

Höjer basmättnadsgraden (från 17,2 till 18,4). Visar sig i höjt pH-värde.

- C. Nötkreatursfoder består till stor del av grovfoder. Svinens foder utgöres av spannmål. Grovfodret har större basöverskott än spannmålen. Därför kan nötgödseln förväntas ha större kalkverkan än svingödsel.

7. Odlade mulljordar är en ekologisk omöjlighet. Varför? Trots detta finns de Varför?

Torvmarker bildas under syrefattiga betingelser framkallade genom vattenmättnad. Under dessa villkor bryts inte växtmaterial ner. I stället blir det anrikning av torv. Torven kan ha olika karaktär beroende på näringstillgången. Det kan utvecklas mosstorv eller kärrtorv. Generellt gäller att det är fattigdom på syre som gör att torvmarken bildas och består.

Om marken dräneras, vilket är en förutsättning för att torvmarken ska kunna odlas, tar man bort den faktor som är en förutsättning för torvmarken – torvmarken börjar brytas ner. Den är inte hållbar – den är en ekologisk omöjlighet.

Ändå odlas många mulljordar. Anledningen är att, trots att jämvikten brutits genom dränering är den bildade torven förvånansvärt stabil. Detta kan demonstreras med resultat från ett fastliggande fältförsök. Här visas C-halten i matjorden från tre försöksled:

Rötslam	2,20 %
Halm	1,67 %
Torv	3,15 %

Mulljordarna går sin undergång till mötes, även om det i vissa fall kommer att ta tid. Många mulljordar är redan bortodlade. I bästa fall brukas kvarvarande mull ner i underliggande lera och resulterar i en mullrik lerjord. I sämsta fall ligger mulljorden på grov morän. Då är den inte användbar för fortsatt odling.

8. Odling av mulljordar medför att den organiska substansen odlas bort (mineraliseras).

För en kärrtorvmulljord gäller följande:

Vol.vikt	0,6
N i den organiska substansen	3%
Mullhalt	50%

Hur mycket kväve per hektar innehåller ett 1 cm tjockt skikt av kärrtorvmullen i fråga?

Kommer hela denna kvävemängd att mineraliseras och bli tillgänglig för gröda och utlakning om mulljorden sjunker 1 cm på grund av bortodling?

$10\,000 \times 0,01 \times 0,6$	60 ton jord per hektar i ett 1 cm tjockt skikt
Organiskt material	50% → 30 ton
$30\,000 \times 0,03$	900 kg N per hektar

900 kg kväve per hektar är givetvis långt mer än vad grödan behöver. Utlakning är ofrånkomlig. Men allt kommer inte att lakas ut. Den organiska substansen omsätts. Detta leder till att C-halten minskar. Dessutom kommer omsättningen att leda till att C/N-kvoten minskar dvs. N-halten ökar. En del kväve behövs för detta. Det är emellertid inte fråga om mycket kväve.

Omsättningen leder dessutom till att pH-värdet sjunker. Detta är en följd av att det bildas nya sura grupper ($-\text{COOH}$). Detta visar sig i att CEC stiger. Speciellt stor blir effekten om man kalkar. En måttlig kalkning räcker inte för att kompensera pH-sänkningen. En annan orsak till pH-sänkningen kan vara att jorden innehåller reducerat svavel, som lätt oxideras till svavelsyra.

9. För växthusodling och hobbyodling säljs torv i plastförpackningar. Ofta är torven gödslad och kalkad (Virdung, 1982).

A. Ibland har man observerat, att torven inte motsvarar förväntningarna – i synnerhet vad gäller kväveverkan. Dålig kväveverkan kan bero på att det sker processer i torven. Vilka processer är tänkbara?

B. Ett inkubationsförsök med torv utfördes. Två vattenhalter (76 resp. 88 viktsprocent vatten) kombinerades med tre kalkningsnivåer (0, 40 och 80 mg CaO per 100 g ts). Vattenhalterna valdes så att det torra provet var väl genomluftat medan luften utestängdes ganska effektivt ur det

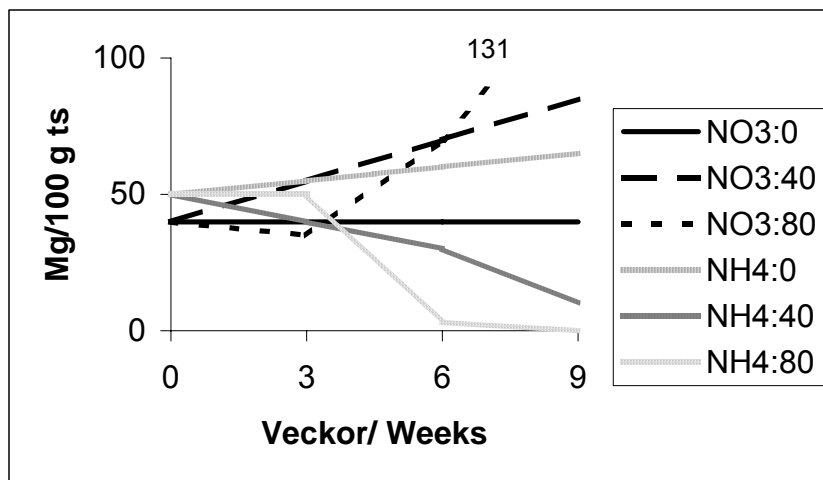
våta provet. Inkubationen genomfördes vid 24°C. Vid försökets start tillsattes 68 mg N i form av ammoniumnitrat. Vid starten fanns det 12 mg NH_4^+ -N i jordprovet.

Vid olika tidpunkter (3, 6 och 9 veckor) uttogs prover för mineralkvävebestämning. Diskutera de olika behandlingarnas effekt på mineralkväveinnehållet (se fig. 1a och 1b)

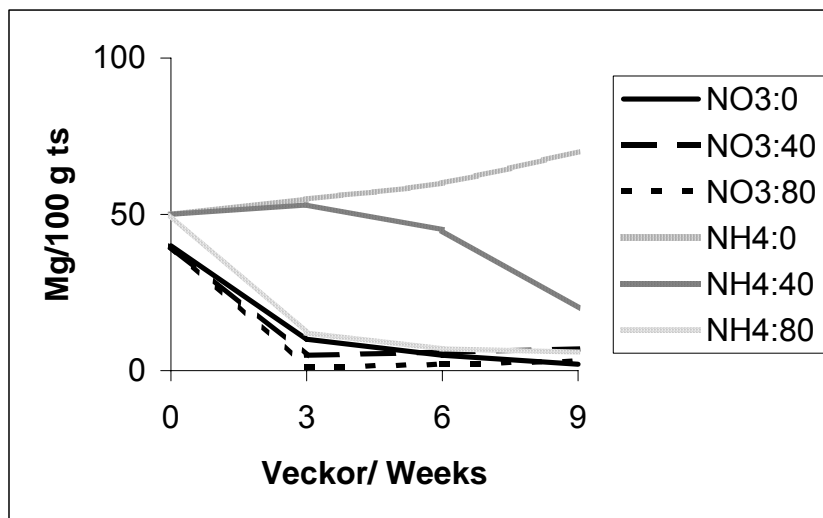
C. För pH-bestämning uttogs prov efter 3 veckor.

Vattenhalt, %	CaO, me/100 g ts	pH
76	0	4,1
76	40	4,8
76	80	5,7
88	0	4,3
88	40	5,1
88	80	6,2

Kan man tänka sig någon förklaring till att pH-värdet är högre vid den högsta vattenhalten?



Figur 1a. Gödslad torv inkuberad vid 24°C och 76% vattenhalt. Effekt av kvävetprocesser över tiden. CaO nivåer 0, 40 och 80 me CaO 100 g⁻¹.
 Figure 1a. Fertilized peat incubated at 24°C and 76% moisture. Effect of nitrogen processes over time. CaO levels 0, 40 and 80 me CaO 100 g⁻¹.



Figur 1b. Gödslad torv inkuberad vid 24° C och 88% vattenhalt. Effekt av kvävetts processer över tiden. CaO nivåer 0, 40 och 80 me CaO 100 g⁻¹.
 Figure 1b. Fertilized peat incubated at 24° C and 76% moisture. Effect of nitrogen processes over time. CaO levels 0, 40 and 80 me CaO 100 g⁻¹.

A. Processer av intresse för kvävetts reaktioner:

Immobilisering
 Mineralisering
 Denitrifikation
 Avdunstning
 Nitrifikation

B. 76 % vatten

Utan CaO

Ingen reaktion

40 me/100 g CaO

Nitrifikation trots lågt pH-värde. Minskning av NH₄⁺-N av samma storleksordning som ökning i NO₃⁻-N. Processen behövde 9 veckor för att fullbordas

80 me/100 g CaO

Nitrifikationen av befintligt NH₄-N avslutades efter 6 veckor men fortsatte under resten av försöksperioden. Detta visar att det förekom en betydande nettomineralisering av kväve.

88 % vatten

Utan CaO

Ingen nitrifikation. Allt ammoniumkväve fanns kvar när försöket avslutades. Denitrifikationen var kraftig. Allt nitratkväve försvann omedelbart.

40 me/100 g CaO

Denitrifikationen var kraftig. Allt nitrat försvann omedelbart. Efter 9 veckor hade större delen av ammoniumkvävet försvunnit. Det kan finnas tre förklaringar till detta. Ammoniumkvävet kan ha avdunstat som ammoniak. Denna förklaring är föga trolig av två skäl. Vattenhalten var hög. Ammoniak är mycket löslig i vatten. Dessutom var pH-värdet, trots kalkning, lågt. Det betyder att endast en mycket liten andel av kvävet förelåg som ammoniak. En andra förklaring kan vara att ammoniumkvävet immobiliserats. Förutsättningarna i form av kvävefattigt energisubstrat fanns ju. Å andra sidan var energisubstratet svårömsättbart och syretillgången var dålig. Den tredje möjligheten är att det skedde en nitrifikation följt av denitrifikation. Man är benägen att gissa att det är den sistnämnda tolkningen som är den riktiga. Ammoniumkvävet försvinnande och nitrifikationen följde ju varandra väl i övriga försöksled. Men det är klart att också nitrifikationen kräver syre.

80 me/100 g CaO

Samma tolkningssvårighet som i föregående led förelåg. Ammoniumkvävet försvann ännu snabbare i detta led.

- C. pH-värdet var genomgående högre i led med den högsta vattenhalten. En viktig förklaring till detta står säkert att finna i den denitrifikation som skedde i dessa led.

Det förefaller troligt att kväveförluster kan erhållas under praktiska förhållanden. Detta gäller främst om torven är kalkad och våt samt om torvförpackningarna lagras där det är relativt varmt.

10. En morotsodlare i Skåne prövade under vintern 95/96 att lagra morötterna i marken utan att ta upp dem. Som isolering mot kylan lade han på 35-40 ton halm per hektar. På våren, sedan morötterna tagits upp plöjde han ner halmen och satte potatis.

Han gödslade enligt följande:

- 1 mars 35 m³ flytgödsel per hektar (98 kg NH₄⁺-N, 42 kg P och 66 kg K)
- 10 maj Vid sättnig. 350 kg N28 (100 kg N), 200 kg kalimagnesia (50 kg K)
- 7 juli 400 kg kalksalpeter (60 kg N) . Brist på mineral-N förelåg enligt analys. 300 kg kalimagnesia (75 kg K)
- 25 juli 300 kg kalksalpeter (45 kg N). Brist på mineral-N enligt analys.

Gödslingen under vegetationsperioden gjordes med ledning av jord- och växtanalys.

Potatis, som odlades på vanligt sätt fick 169 kg/ha N (134 kg mindre än på "halmskiftet").

1 oktober Skörd, 43-45 ton per hektar (ungefär samma skörd som på gården i övrigt).

A Hur relaterar N-givan till vad som kan tänkas bli immobiliserat vid halmomsättningen och till grödans behov?

B. Hur relaterar tillförd K-mängd till potatisens behov?

C. Kommer K att immobiliseras på samma sätt som N?

- A. Kvävegödslingen var 303-169 = 134 kg större än i konventionell odling.
Allmän rekommendation – 170 kg/ha N.

N-immobilisering vid halmnedbrukning: 7 kg per ton halm = 280 kg N (dessutom fanns 200 kg N i halmen). Sakerligen är immobiliseringen betydligt mindre. Det perfekta läget är att 40 ton halm ska ge 8 ton humus innehållande 500 kg N. Så mycket N fanns inte tillgängligt för humusbildning. Om-sättningen skedde således vid låg N-tillgång. Detta ger mer

CO₂ och mindre humus. Dålig kontakt med jorden resulterar också i sämre humusbildning. Generellt är det svårt att applicera normala resonemang på en så extrem situation.

B.	Kaliumtillförsel:	Flytgödsel,	66 kg
		Mineralgödsel	124 kg
		Halm	400 kg
		Summa	590 kg

Rekommendation i klass III	120-200 kg
Bortförsel med 45 ton knölar	225 kg

Kaliumöverskott	365 kg
-----------------	--------

- C. Kalium finns som jon i mikroorganismerna. Däremot binds det inte in i humus på samma sätt som kväve. Någon immobilisering i likhet med kväve förekommer således inte.

Allt tillfört kalium är tillgängligt för växten. Tillförseln är därför alldeles för stor för grödan. Frågan är hur överskottet av kalium fördelar sig efter skörd. 365 kg kalium motsvarar 14 AL-enheter. Så mycket kalium fastnar inte i matjorden även om det är en lerjord. Det är nog ofrånkomligt att en stor del av kaliumet utlakades.

11. I ett skogsgödslingsförsök prövades urea och ammoniumnitrat som kvävegödselmedel. Ureakvävet samt ammoniumnitratets ammoniumdel var isotopmärkta. Resultaten av markkväveanalyser framgår av tabellen. Vad är orsaken till att proportionsvis mer urea-N än ammonium-N återfanns i den organiska kvävefraktionen?

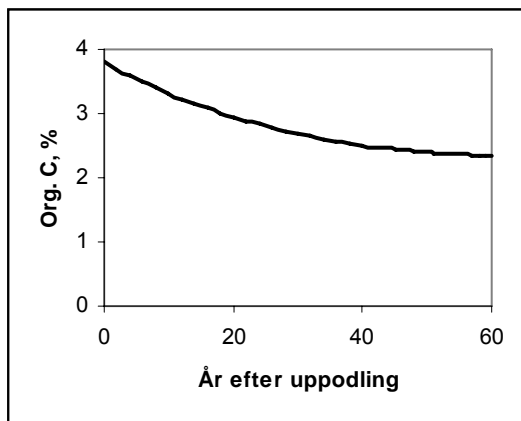
Recovery of labelled N. Incubation experiment with "mor" treated with ammonium nitrate and urea (J. Melin)

Added labelled N, mg/kg		Recovered labelled N, mg/kg		
		NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Organic N
NH ₄ ⁺ -N	1203	825	19	301
Urea-N	2406	1145	<1	1234

Lignin och humus har förmåga att reagera med NH_3 under bildning av stabila organiska kväveföreningar (ammoniakfixering). Det är fråga om reaktion med NH_3 , inte med NH_4^+ . Ammoniumfixering är något helt annat. Därför sker reaktionen endast vid högt pH-värde. Sådana förutsättningar uppkommer vid gödsling med urea (hydrolysen leder ju till högt pH-värde och bildning av ammoniak) eller flytande ammoniak. Fixeringen sker under oxidation av den organiska substansen, dvs. upptag av syre och avgivning av koldioxid. Många försök har gjorts att utnyttja processen för att framställa långsamverkande gödselmedel. Problemet har alltid varit att de framställda gödselmedlen varit alltför stabila. Kväveverkan har uteblivit.

I ett tidigt skede använde man urea vid skogsgödsling. Fysikaliskt är urea lämpligt att sprida med flyg, lätt att hantera och har hög kvävehalt (46 % N). Det visade sig emellertid att kväveverkan var dålig. Därför slutade man med urea. En anledning till den dåliga verkan är säkerligen NH_3 -fixering, en annan kan vara ammoniakavdunstning.

12. När en permanent gräsmark plöjes för första gången följer några decennier med mycket snabb nedbrytning av organiskt material. 20-30 % av det organiska materialet mineraliseras. Detta illustreras med en undersökning från Kungsängen. Detta var tidigare ängsmark, som användes för slätter. Uppodlingen började år 1854. Sista skiftet odlades upp 1920. Ett skifte (Kungsängenreservatet) har aldrig plöjts. C/N-kvoten var ca 10 för samtliga jordprover. Analysdata finns från fem skiften med olika tidpunkter för uppodling. Från varje skifte finns dessutom jordprov från två provtagningstillfällen. Genom att sammanställa alla analysdata kunde bifogade figur sammanställas.



Figur 2. Halten organiskt C som resultat av uppodling (Persson, 1978).

Figure 2. Changes in content of organic C in newly broken land (Persson, 1978).

A. Gör en ungefärlig beräkning av den årliga mineraliseringen i genomsnitt för de första 40 åren

B. Vad betydde N-mineraliseringen för grödans försörjning?

C. Vad betydde N-mineraliseringen för den externa miljön?

- A. Genom att mäta på figuren finner man att C-halten minskat med ca 1 % på 40 år. Detta betyder 25 ton C. Om man räknar med C/N-kvoten 10 kan man uppskatta N-mineraliseringen till 2500 kg N per hektar. Den årliga mineraliseringen uppskattas således till 60 kg N.
- B. Vid tiden för uppodlingen fanns inte mineralgödselmedel tillgängliga. Uppodlingen innebar således ett stort kvävetillskott. Det är ändå inte säkert att det betydde så mycket för skörden. Vid den tiden var nämligen marken på Kungsängen mycket sur på grund av gyttejinslag. (den har senare kalkats kraftigt). Detta kan ha hållit tillbaka skördarna?
- C. I det läget kan N-utlakningen ha varit ganska stor. Men framför allt kan man räkna med att utlakningen av svavelsyra blev betydande när gyttejans svavel oxiderades.

13. Tabellerna visar resultat från 25 år gamla försök. Det ena (Petersborg) ligger i Skåne, de övriga (Ås, Rönnebo och Offer) ligger i Jämtlands, Västerbottens och Västernorrlands län.

A. Varför var mullhalten högre i "Norrlandsförsöken" än i "Skåneförsöket"?

B. Varför var förändringarna över tiden större i "Norrlandsförsöken" än i "Skåneförsöket"?

C. Vad kan man säga om vallen resp. skörderester när det gäller att vidmakthålla mullhalten?

Växtföljd (Petersborg)

a	Korn Vall Höstvete Sockerbetor	Alla skörderester bortföres Stallgödsel till sockerbetor
b	Korn Oljeväxter Höstvete Sockerbetor	Alla skörderester bortföres eller brännes
c	Korn Oljeväxter Höstvete Sockerbetor	Alla skörderester brukas ner

Organiskt C i matjorden, %. Fastliggande försök på Petersborg (M-län) Försöket startat 1956

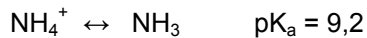
Försöksled	1956	1964	1970	1977
a	1,18	1,25	1,24	1,29
b	1,14	1,18	1,09	1,09
c	1,15	1,25	1,20	1,24

Organiskt C, %, i matjorden i 6-åriga växtföljder med olika antal vallar

Antal vallar	Ås		Röbäcksdalen		Offer	
	1957	1972	1958	1974	1956	1972
5	3,93	3,43	3,90	3,77	2,81	2,76
3	4,12	3,96	3,50	3,16	2,67	2,64
0	4,36	3,06	3,58	2,69	2,30	1,85

- A. Klimatet är en viktig faktor för mullbalansen. Det kallare klimatet i Norrland är en viktig faktor för att mullhalten är högre i de norrländska försöken än i Skåneförsöket. En annan orsak till den högre mullhalten är att vallodlingen av tradition varit mer frekvent i Norrland än i Skåne.
- B. Anledningen till att mullhalten sjönk kraftigt där vallandelen var låg är att jämvikten stördes kraftigt när vallarna togs bort. Den mullsubstans som byggts upp under lång tid på grund av permanenta vallar började brytas ner. Systemet var inte längre i jämvikt när vallandelen minskade drastiskt. Där vall ingick i försöksplanen dämpades störningen.
- C. Resultaten antyder att en ettårig vall påverkar mullhalten lika mycket som om skörderesterna utnyttjas för att främja mullhalten.

14. Ungefär hur stor del av kvävet i urin (pH 8,5) resp. flytgödsel (pH 7,0) föreligger som NH_3 ? Diskutera med utgångspunkt härifrån risken för ammoniakavdunstning vid hantering av produkterna.



Detta betyder att vid pH 9,2 föreligger 50 % som NH_4^+ och 50 % som NH_3

$$\text{pH} = \text{pK}_a + \log b/s$$

$$\text{Flytgödsel: } 7 = 9,25 + \log b/s \text{ (b=bas, s=syra)}$$

$$\log b/s = -2,25$$

$$b/s = 0,006 \text{ eller } 0,6 \%$$

$$\text{Urin: } 8,50 = 9,25 + \log b/s$$

$$\log b/s = -0,75$$

$$b/s = 0,18$$

$$118 \times /100 = 18$$

$$x(b) = 15 \%$$

Det är uppenbart att den omedelbara risken för avdunstning är störst för urin. Å andra sidan, vartefter som avdunstningen fortgår förskjuts jämvikten och ny ammoniak bildas. Det har tidigare påpekats att pH-värdet i flytgödsel stiger efter spridning på grund av att organiska syror bryts ner.

15. Per Jönsson Rösiö var lärare och folkbildare i början av 1900-talet. Han gjorde turnéer på landsbygden och höll många föredrag, bland annat om stallgödsel. Framför allt insåg han betydelsen av stallgödselkvävet. Hans budskap var: Stallgödseln ska vara täckt med tak, fuktig och väl packad. Vilka motiv hade han för dessa rekommendationer?

Gödseln skulle vara täckt för att undvika urlakning av näringsämnen.

Gödseln skulle vara fuktig för att förhindra nitrifikation och för att binda ammoniak. Rösiö insåg risken med denitrifikation och urlakning.

Gödseln skulle vara packad för att undvika ammoniakförluster.

16. För en kärrtorvmulljord som var under uppodling uppmättes pH-värdet 6,1. Vid nettokalkbestämning fann man 15 ton Ca och 20 ton S per hektar. Hur stort var kalkbehovet?

15 ton Ca: 21 ton CaO

20 ton S: 50 ton SO₃

Nettokalk: $21 - 0,7 \times 50 = 21 - 35 = -14$ ton CaO

Nettokalkmängden var således negativ, vilket var ganska vanligt i samband med nyodling. Man lät jorden urlakas några år efter en liten kalkning.

Att svavelhalten ska multipliceras med 0,7 beror på att man arbetade med ekvivalenta mängder. Det var inte fråga om att endast ta hänsyn till en del av svavlet.

17. De skånska bördighets försöken är nu 40 år gamla. Växtföljd och skörderestbehandling framgår av följande uppställning (Carlgren & Mattsson, 2001):

Växtföljd:	I. Korn	II. Korn
	Vall, klöver/gräs	Oljeväxter
	Höstvete	Höstvete
	Sockerbetor	Sockerbetor

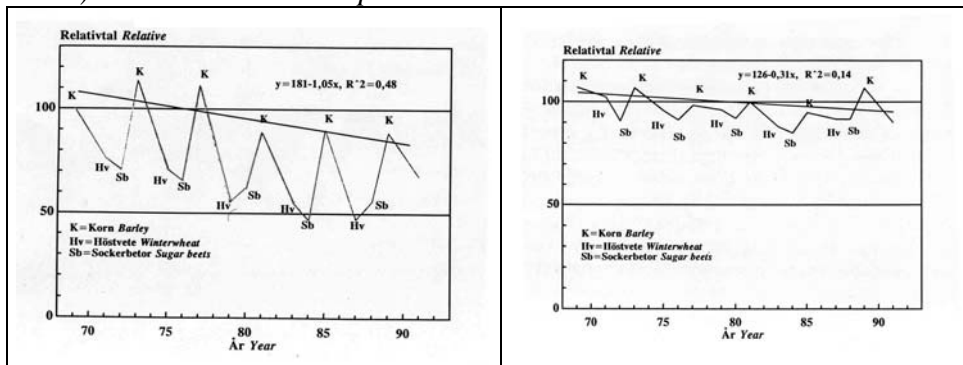
Skörderester:	Bortföres	Brukas ner
---------------	-----------	------------

Stallgödsel:	Till sockerbetor
--------------	------------------

Gödsling:	Till båda växtföljderna 4 N-nivåer (den lägsta utan N)
-----------	--

Bifogade figurer åskådliggör skörden under några växtföljdsomlopp. Den ena figuren avser försöksled där inget kväve tillförts sedan försöken startades. Den andra figuren avser hög N-nivå. Kurvorna är så konstruerade att varje år har skörden i växtföljd I satts till 100 och skörden i växtföljd II i relation därtill. Detta betyder att om skörden i växtföljd II är lägre än i växtföljd I blir relativtalet lägre än 100. Observera att skördarna av vall och oljeväxter inte är införda i diagrammen. Det är nämligen inte meningsfullt att jämföra dem på detta sätt. Men också dessa grödor är givetvis med i det markbiologiska spelet.

Man finner ett regelbundet mönster. Diskutera långsiktiga och kortsiktiga orsaker till effekterna i de icke kvävegödslade försöksleden. Av figuren som representerar de kväverika försöksleden framgår att skillnaderna mellan försöksleden inte utjämnats helt av kvävegödseln (Persson & Mattsson, 1993). Vad kan detta bero på?



Det ogödslade alternativet: Höstveteskörden var genomgående lägre i växtföljd II. En viktig orsak till detta är att förfrukten var klöver/gräs i växtföljd I och oljeväxter i växtföljd II. Mineralisering av den kväverika klöverna resulterade i nettomineralisering av kväve. Man erhöll en grüngödslingseffekt. Dessutom brukades oljeväxthalm ner i växtföljd II. Troligtvis resulterade detta i en viss nettoimmobilisering av kväve. Sockerbetsskörden var också genomgående lägre i växtföljd II. Detta är ett resultat av att höstvetehalmen brukades ned i växtföljd II. Dessutom erhöll sockerbetorna i växtföljd I stallgödsel. Denna positiva effekt torde ha betytt mer än den negativa ”halmeffekten”. Kornet visade genomgående bättre resultat för växtföljd II än för växtföljd I. Orsaken till detta var att sockerbetsblasten brukades ner i växtföljd II. Här fick man åter en grüngödslingseffekt. Å andra sida finner man att kornskördarna var lägre i växtföljd II under den senare delen av försöksperioden. Regressionslinjen, som avser kornskörden visar att kornskördarna sjönk över tiden. Man kan ana en liknande effekt även för de övriga grödorna. Detta antyder en negativ, långsiktig bördighetseffekt. Man kan konstatera, att analyser visar att mullhalten sjönk under perioden 1962-1988. Detta framgår av tabellen. Det är värt att påpekas att mullhaltsminskningen var störst i växtföljd II. Att skördeutvecklingen blev på detta sätt kan således vara en fysikalisk effekt beroende på sänkt mullhalt.

Också i det fall där kvävegödslingen var riklig har man samma grödeffekter som i det kvävefattiga alternativet. Effekterna är emellertid mycket mindre. Det är svårt att finna en hållbar förklaring till detta.

Förändringar i bördighetsjordarnas mullhalt under åren 1962-1988. Medeltal för 6 försöksplatser, kg/ha

Växtföljd	Årlig kvävegiva, kg/ha			
	0	50	100	150
I	-3850	-2150	-940	-580
II	-8030	-5510	-2280	-750

18. I ett landskapslaboratorium vill man anlägga en näringsfattig äng för att gynna örter på bekostnad av gräs. Som grundmaterial används näringsfattig sand. För att skapa en gynnsam fysikalisk markmiljö tillsattes samma volym sphagnumtorv (näringsfattig). En ”lagom” kvantitet näring måste tillsättas. Det är främst kvävefaktorn som är kritisk. Det får inte bli för mycket kväve men så mycket att örterna överlever. Hur kan man bedöma kvävebehovet?

Man startade ett inkubationsförsök på laboratoriet och mätte kväveminaliseringen som mg N per kg, när försöket avslutades enligt följande (när försöket startades fanns 28,3 mg/kg NH_4^+ -N och 26,4 mg/kg NO_3^- -N):

Behandling	NH_4^+ -N	NO_3^- -N	Summa min-N
Sand+torv	29,3	24,5	53,8
Sand+torv+gräs	16,3	4,2	20,5
Sand+torv+klöver	149,2	26,5	175,7

Ledet med sand och torv visade ingen nettoeffekt rörande kvävet mineralisering och immobilisering. Inte heller någon nitrifikation kunde mätas upp.

Det är klart från försöksresultaten att det gräs, som användes förorsakade en betydande immobilisering av kväve. Immobiliseringen drabbade också nitraten, vilket var oväntat. Förmodligen är det så att gräset innehöll en del kvävefria kolhydrater som omsattes innan gräsets proteiner. Denna tidsförskjutning gjorde att nitraten kom att immobiliseras. Antagligen tog också ammoniumkvävet slut innan proteinerna började omsättas. I vilket fall som helst förorsakade gräset så stor immobilisering att man inte kan förvänta sig någon kväveminalisering till förmån för örterna. Inte heller kunde man uppmäta någon nitrifikation.

Klövern förorsakade en mycket kraftig mineralisering. Däremot förekom inte heller i detta led någon nitrifikation.

Det är tydligt att det använda gräset var alltför ”magert” för att användas som kvävegödselmedel. Klöver nettomineraliserade

mycket kväve. En gissning är att klövern bör användas som gödselmedel men med försiktighet.

19. I ett 35 år gammalt försök ingick ett försöksled med ständig svart träda och ett med ogödslad vårsäd. Data från försöket återfinns i tabellen:

<i>Led</i>	<u><i>N i jorden</i></u>		<i>N-upptag med grödan</i>
	<i>%</i>	<i>kg/ha</i>	<i>kg/ha</i>
<i>Träda</i>	<i>0,11</i>	<i>3170</i>	<i>0</i>
<i>Bevuxet, utan N</i>	<i>0,13</i>	<i>3740</i>	<i>1510</i>

Hur kan man förklara att jorden innehöll mer kväve i det ogödslade, bevuxna ledet än i trädesledet trots att mycket kväve förts bort med grödan i det bevuxna ledet?

I det ogödslade, bevuxna ledet producerades organiskt material i form av skörderester (rötter och stubb). Så var inte fallet i trädesledet. Skörderesterna innehöll kväve, som bands vid omsättningen i form av biomassa och humus. Detta kväve blev således kvar i marken. Dessutom kan man räkna med att skörderesterna (kvävefattiga) immobiliserade mineralkväve, som mineraliserats under sensommaren och hösten. I trädesledet utlakades detta kväve eftersom det inte fanns något omsättbart C till vilket det kunde immobiliseras.

20. *I en rapport från ett försök med humanurin i västra Sverige konstaterades att*

-I jämförelse med mineralgödsel hade urinkväve sämre verkan

-Urinkväve hade bättre verkan än ammoniumkväve i flytgödsel

-Vad kan vara orsaken till dessa skillnader?

Man måste räkna med ammoniakförluster vid spridning av urin. Denna förlust har man inte vid spridning av mineralgödsel.

Man måste räkna med att en del ammoniumkväve immobiliseras vid omsättning av kvävefattigt organiskt material, när flytgödseln hamnar i marken och betingelserna för omsättning blir gynnsammare än i flytgödselbehållaren. Därför kan man inte räkna fullt ut med ammoniumkvävet i flytgödseln. För urinen har man inte motsvarande immobilisering. Förlusterna i form av avdunstning var uppenbarligen mindre än den immobilisering som förekom vid omsättning av flytgödsel.

21. På Biby Gård, Eskilstuna, går ett stort antal köttdjur året om på en barkbädd i det fria. Bädden är 1,5-2,0 m djup och har legat i ca 20 år. Den ligger på mellanlera. Våren 1998 uttogs skiktvis (20 cm skikt) prov av profilen. Materialet analyserades med avseende på pH, C, tot- N, NH_4^+ -N, NO_3^- -N. Förutom barkbädden analyserades färsk bark. Inkubationsförsök genomfördes där CO_2 -utvecklingen i färsk bark bestämdes vid olika N-nivåer (Öhrn, 1998).

- A. Hur förklarar man att C-halten är lägre i "bäddmaterialet" än i färsk bark?*
- B. Vad kan man säga om nedbrytningens kväveberoende?*
- C. Vad är anledningen till att pH-värdet var lägre i den färska barken än i barkbädden?*
- D. Lämpar sig bäddmaterialet som kvävegödselmedel?*
- E. Måste man räkna med utlakning av kväve och transport till vatten-drag?*

Kemisk analys av "bäddmaterial" och färsk bark. Analyserna avser ts

Prov cm	pH	NH ₄ ⁺ -N mg/kg	NO ₃ ⁻ -N mg/kg	Aska, %	C, %	N, %	C/N
0-20	6,4	537	2	27	35,4	0,87	41
20-40	6,0	246	1	19	40,4	0,68	59
40-60	5,8	431	1	22	39,2	0,71	55
60-80	6,2	780	1	23	37,8	0,93	41
80-100	6,3	1309	1	38	30,1	1,03	29
100-120	6,4	1436	2	32	31,5	0,79	40
120-140	6,4	1474	1	15	42,5	0,86	50
140-167	6,1	652	1	25	35,9	0,38	94
Färsk bark	3,9	1	0	1	52,3	0,21	244

Inkubationsförsök med färsk bark, mg CO₂-C per 5 g färsk bark (ts) under 14 dagar

N-giva, mg	CO ₂ -C mg
0	19,8
10	28,5
50	51,8
100	69,8
150	76,9

Näringsinnehåll i underliggande jord, kg/ha

Nivå, cm	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N
0-20	79	0,14
20-40	428	0,42
40-60	293	0,29

- A. En betydande nedbrytning av organiskt material inträffade. Detta ledde till att C-halten minskade samtidigt som askhalten ökade.
- B. Den färska barken innehöll inget mineral-N och mycket lite organiskt N. Följaktligen blev C/N-kvoten hög. Den färska barken hade vidare stor förmåga att immobilisera mineral-N, vilket framgår av inkubationen med färsk bark. En förutsättning för denna immobilisering är dels att det finns omsättbart C, dels att det finns mineraliskt N. Att det fanns om-

sättbart C visar inkubationsförsöket. Mineraliskt kväve fanns i stor mängd i barkbädden i form av urea, som hydrolyserades. Kol- och kvävemässigt var förutsättningarna goda för omsättning. Trots detta sjönk inte C/N-kvoten mer än till 40-50 och stora mängder NH_4^+ -N (en produkt av urea-hydrolysen) ansamlades. Anledningen till att så stora mängder mineral-N inte fastlades i organiska omsättningsprodukter kan vara att barken innehöll en del mycket svåromsättbara, kvävefattiga föreningar, som bidrog till att hålla C/N-kvoten hög. Hartser kan vara sådana substanser. Det kan också bero på att miljön i bädden inte medgav en fullständig omsättning av den organiska substansen i barken. Miljön i bädden tillät inte någon nitrifikation.

- C. Det pH-värde som uppmättes i den färska barken får anses vara normalt för bark av detta slag. Att pH-värdet blev högre i bädden beror på urea-hydrolysen tillsammans med att det inte skedde någon nitrifikation. En sådan skulle ha bidragit till att sänka pH-värdet.
- D. Det är troligt att ammoniumkvävet i bäddmaterialet till stor del kan utnyttjas av grödan. Men man kan inte utesluta att omsättningen fortsätter i marken efter utspridning. Miljön för mikroorganismerna torde vara gynnsammare där. På sikt kan man förvänta sig att C/N-kvoten går mot 10. För att komma dit måste ytterligare en del kväve immobiliseras. Om man räknar med att allt ammoniumkväve kommer grödan till del blir det inte mer 5 kg kväve om man sprider 10 ton ts i barkbäddsmaterial. Bäddmaterialet kan således inte bli något kvävegödselmedel av betydelse.
- E. Bäddmaterialet innehöll inget nitrat. Någon nitratutlakning från bädden är därför inte aktuell. Däremot fanns mycket ammonium-N i bädden. I bädden är detta rörligt, vilket också framgår av analyserna av underliggande lerjord. Om detta fortsätter nedåt och vidare ut i vattendragen beror främst på hur tjockt lerlagret är. Någon betydande utlakning torde inte ske av det ammoniumkväve, som bundits i utbytbar form i leran.

22. För att minska kväveläckaget har fånggröda blivit ett inslag i växtodlingen. Främst är det rajgräs, insådd i stråsäd som används som fång-

gröda. Under de klimatbetingelser, som råder i mellansverige blir rajgräskörden inte särskilt stor (600-800 kg ts per ha). Inkluderar man rötterna kan man kanske räkna med 1000 kg ts per hektar. Det har ibland framförts farhågor för att kontinuerlig odling av fånggrödor kan leda till en ohälsam ”kväve-mineralisering på grund av anhopning av organiskt kväve i matjorden – en tickande kvävebomb. Diskutera risken för en sådan kvävebomb.

Som stöd för diskussionen lämnas några resultat från ett fastliggande fältförsök med tillförsel av färskt organiskt material. Den årliga tillförseln svarar mot 4000 kg ts per hektar i organiskt material och siffrorna i bifogad tabell avser 35 år efter försökets start. När försöket startades var C-halten i marken 1,5 %. Ställ gärna den mängd C, som tillförts med organiskt material (67 ton per ha) mot den mängd som fanns i jorden när försöket startades (42 ton per ha).

Innehållet av C samt C/N-kvoten i några försöksled efter efter 35 år

Försöksled	C, %	C, kg/ha	C/N	N-skörd, Tillf. N, kg/ha	kg/ha
Utan gröda, utan N	1,04	29480	9,5	-	-
Med gröda, utan N	1,22	34890	9,4	1529	
Med gröda, med kalksalpeter	1,45	40880	9,7	3147	80
Med gröda, utan N, med halm	1,67	47130	10,4	1582	28
Med gröda, med N, med halm	1,98	55360	11,0	324928	+80
Med gröda, utan N, med gröngödsel	1,77	50060	9,8	2981	110

Det är svårt att göra en exakt bedömning av frågan. Den gällde ju effekten av bildad humus av gräset, dvs, långtidseffekten. Denna effekt blandar sig med en korttidseffekt, som hänger samman med omsättning av färskt material (gräs och halm). Gräset ger en positiv korttidseffekt (ca 30 kg/ha och år). Halmen ger en lika stor negativ effekt. Korttidseffekten klingar av efter 1-2 år. Långtidseffekten är svår att urskilja eftersom den blandas med korttidseffekten. Det tillfördes ju konsekvent nytt färskt material, dvs det fanns hela tiden en korttidseffekt att ta hänsyn till.

En övergripande bedömning ger vid handen att det inte finns någon tendens till ”kvävebomb” vid nedbrukning av gräs. Då är det ändå så att i detta försök har det brukats ner 4 gånger mer än vad som är fallet med en fånggröda. Det kan också påpekas att C/N-kvoten är ungefär den samma oberoende av om det är halm eller

gräs som utgjorde råmaterialet. Detta är i linje med att det inte i första hand är kvaliteten på mullråämnet utan miljön i marken som bestämmer humussubstansernas kvalitet. Det finns således ingen risk för att gräset ska resultera i kväverikare humussubstanter med större kväve mineralisering som följd.

23. En lantbrukare har en stor kött djursproduktion. Han behöver köpa halm för denna produktion. Grannen är villig att leverera halm. Han vill i utbyte ha så mycket stallgödsel som motsvarar humusutbytet hos halmen. Är detta ett rimligt krav?

Antag att det är fråga om 3000 kg halm. Denna mängd halm ger 600 kg humus. För att erhålla samma humusmängd ur stallgödsel behövs 2 ton ts eller 10 ton stallgödsel.

Utöver humuseffekten måste man beakta näringsinnehållet. I halmen kan endast kaliuminnehållet ha betydelse. Detta kan utnyttjas via stallgödseln. Halmen innehåller 1% K. I 3000 kg halm finns således 30 kg kalium. Detta betingar ett pris av ungefär 150 kr. Ett ton stallgödsel innehåller 4 kg N, 1 kg P och 5 kg K. 10 ton stallgödsel innehåller således 40 kg N, 10 kg P och 50 kg K. Kortsiktigt kan stallgödsel-N inte utnyttjas fullt ut beroende på fastläggning i humus. Det kan däremot innehåll av P och K. Priset för dessa är sammanlagt 370 kr. Man kan naturligtvis också sätta ett pris på kalkeffekten hos halmen och stallgödseln. Kalkeffekten hos halm är 9 kg CaO per ton, totalt 27 kg CaO. Hos stallgödsel kan man räkna med en kalkeffekt av 3 kg CaO per ton, totalt 30 kg. Det är alltså fråga om små mängder kalk. Dessutom har de båda materialen totalt nästan samma kalkeffekt. Den stora skillnaden finns alltså i värdet på näringsämnen. Sammanfattningsvis kan man hävda att lantbrukaren gör ett dåligt byte.

Näringsvärdet i halmen (P+K) 185 kr och i stallgödseln 370 kr.

24. Från en försöksserie erhöles följande resultat. Bakom resultaten ligger ett stort antal äldre länsförsök från 60-talet.

Hur kan man förklara att kväveeffekten blev större vid vårspridning av den extra kvävegivan?

Skulle man förvänta sig kvävedepression av halmgivan?

<i>Behandling</i>	<i>Skörd, kg/ha</i>	<i>Rel</i>
<i>Utan halm, utan extra N</i>	<i>3450</i>	<i>100</i>
<i>Med halm, utan extra N</i>	<i>3440</i>	<i>100</i>
<i>Med halm, 30 kg/ha N på hösten</i>	<i>3620</i>	<i>105</i>
<i>Med halm, 30 kg /ha N på våren</i>	<i>3750</i>	<i>109</i>

Den förklaring som ligger närmast till hands är att höstprytt kväve har lakats ut. Det finns emellertid en annan tolkning, som är minst lika trolig, nämligen att höstprytt kväve immobiliserats och stabiliserats i samband med omsättning av halmen. Det stabiliserade kvävet hinner inte remineraliseras under kommande säsong utan förblir oåtkomligt för grödan (detta har framhållits tidigare).

Fenomenet kan demonstreras med resultat från ett kärlförsök. I detta förekom ingen utlakning. 450 mg N per kärl tillfördes på hösten eller på våren. Data avser N-upptag i mg per kärl:

<i>Gödsling</i>	<i>Utan halm</i>	<i>Halm på hösten</i>
<i>Utan N</i>	<i>116</i>	<i>9</i>
<i>På hösten</i>	<i>430</i>	<i>144</i>
<i>På våren</i>	<i>434</i>	<i>221</i>

Det framgår att halmen hade förödande effekt på skörden om inget kväve tillfördes. Det framgår vidare att, om halm inte tillfördes gav höstgiva samma resultat som vårgiva. Tillfört kväve blev således inte utsatt för immobilisering. Det fanns inget lättomsättbart substrat. Om halm tillfördes gav såväl höstspredning som vårspridning skördesänkning. Denna var störst för höstspredning. Det är uppenbart att den färska halmen gav upphov till en livlig omsättning med kväveimmobilisering som följd. Denna blev inte lika kraftig vid vårspridning beroende på att vid det laget var en stor del av halmen förbrukad med påföljd att kvävet inte behövdes i större utsträckning vid omsättningen utan kunde utnyttjas av grödan.

När dessa fältförsök genomfördes (på 60-talet) var det normalt att man gav en extra giva av kväve (ofta 30 kg/ha N) efter halmnedplöjning för att kompensera för immobilisering. Detta var ursprungligen erfarenheter från Tyskland. Att man ofta erhöll liten

effekt av kvävet i försöken (detta gäller ännu mer senare försök) beror förmodligen på att man i försöken sönderdelade halmen bättre och fördelade den bättre i matjorden än i praktiska odlingar. I försöken hann därför halmen omsättas bättre under hösten. På den tiden fanns inte lika effektiva halmhackar som nu. Kvaliteten på nedbrukningen blev därför sämre. Numera hackas och sprids halmen effektivt även i praktiska odlingar. Halmen hinner därför omsättas i stor utsträckning redan på hösten. Detta sker under kvävefattiga betingelser, vilket leder till en långsammare nedbrytning av halmen men ändå tillräckligt effektivt för att omsättningen ska hinna långt redan på hösten. Humusutbytet antas bli sämre än om kvävetillgången varit bättre.

25. För att ge underlag för bedömning av lämpligheten av olika organiskt material som strömedel genomfördes ett kärlförsök med halm, björkspån och furuspån. Data om materialen samt skördar presenteras i följande uppställning:

Org. material	Org C %	Org N %	C/N	Kärnskörd	
				år 1 rel	år 2 rel
Utan org,mtl				100	100
Halm	43,8	0,32	137	60	102
Björkspån	46,5	0,09	516	46	101
Furuspån	47,7	0,05	954	93	94

Vad är orsaken till

att skörden är lägre startåret där organiskt material tillförts?

att björkspån förorsakade större fastläggning än halm under startåret?

att skörden påverkades minst av furuspån under startåret?

att ingen nämnvärd effekt på skörden erhöles av halm och björkspån under efterverkansåret?

att furuspån förorsakade lägre skörd även efterverkansåret?

Samtliga material hade mycket låg halt av kväve (hög C/N-kvot). Man räknar med att om C/N-kvoten är högre än 25 blir resultatet nettoimmobilisering. Omsättbarheten är ungefär lika stor för halm och björkspån. Anledningen till att kvävedepressionen blev högre

för björkspån än för halm är att kvävehalten var lägre i björkspånet.

Anledningen till att skördedepressionen blev lägre för furuspån under startåret var att omsättbarheten hos furuspån är låg beroende på innehållet av hartser. Detta är en viktigare faktor än den mycket låga kvävehalten. Anledningen till att ingen skördedepression erhöles andra året för halm och björkspån är att av det lättomsättbara, kvävefattiga materialet var förbrukat redan under första året.

För furuspån gäller att omsättningen av färskt material fortsatte andra året. Fortfarande var det fråga om kvävefattigt material. Därför uppmättes kvävedepression också andra året där furuspån brukats ner.

Några uppgifter av oorganisk karaktär

1. Man tänker sig, att markvätskan i ett hektar åkerjord isoleras till matjordsdjup – 20 cm. Räkna exempelvis med 30 volymsprocent vatten. pH-värdet uppmättes till 5,0. Hur mycket kalk går det åt för att höja pH-värdet i hela vattenmängden till 6,0? Det antages, att inga buffrande substanser finns i vattnet.

6×10^5 l vatten totalt i 1 ha jord.

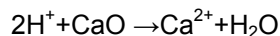
Vid pH 5: 10^{-5} mol H^+ per l.

per ha $10^{-5} \times 6 \times 10^5$ mol H^+ eller 6 g H^+

Vid pH 6: 10^{-6} mol H^+ mol per l

per ha $10^{-6} \times 6 \times 10^5$ mol H^+ eller 0,6 g H^+

Att neutralisera: $6 - 0,6 = 5,4$ g H^+



56 g CaO neutraliserar 2 g H^+

151 g CaO neutraliserar 5,4 g H^+

Endast en mycket liten del av vätejonerna finns i markvattnet. Det mesta finns på markpartiklarna.

2. *pH-värdet i en jord bestämdes i vattensuspension till 6,1. Hur skulle pH-värdet påverkas om man i stället gjorde bestämningen i 1 M KCl-lösning? Vilken skulle effekten bli om man lakade jorden upprepade gånger med KCl-lösning och därefter mätte pH-värdet?*

Anledningen till att man uppmäter ett lägre pH-värde i KCl-lösning än i vatten är att K-jonerna förtränger H^+ -joner ut i markvätskan. Eftersom pH-värdet anger H^+ -jonkoncentrationen i markvätskan kommer resultatet att bli ett lägre pH-värde. Man talar om en utbytesaciditet.

Om man upprepade gånger lakar jorden med KCl-lösning kommer det förträngda vätet att tvättas bort. Kvar får man jord, som är kaliummättad (basvätskad). Med andra jord erhåller man en jord med högt pH-värde.

3. *Som riktvärde brukar man ange, att växten behöver 500 l vatten för att producera 1 kg torrsubstans. Växten använder detta vatten:*

*Som näringsämne (vätet i den organiska substansen härrör från vattnet)
För att upprätthålla saftspänningen (i gröna växter är vattenhalten 80 %)
Som transportmedel (vattnet tages upp via rötterna och transpireras via bladen)*

För ungefär hur stor del av de 500 l vatten svarar var och en av dessa behov?

Den organiska substansen innehåller 8 % H. Det betyder 80 g H i torrsubstansen

Vatten innehåller 11 % H. 727 g vatten innehåller 80 g väte

För saftspänningen krävs 4 kg vatten (80 % av 5 kg grönmassa)

500 l vatten behövs således för:

att byggas in i den organiska substansen 727 g

att upprätthålla saftspänningen 4 kg

att vara transportmedel ca 495 kg

4. I ren dolomit är varannan Ca-atom ersatt av Mg. Hur mycket Ca resp. Mg finns i ren dolomit?. Vilken kalkverkan har ren dolomit? Hur relaterar kalkverkan och Mg-innehållet i ren dolomit till motsvarande värden i bruksvarorna?

Molekylvikt: $\frac{1}{2} \text{Ca} \frac{1}{2} \text{Mg CO}_3 = 92$

Ca = 40

Mg = 24

$X \times 92 / 100 = 20$

$X = 21,7\% \text{ Ca}$

$Y \times 92 / 100 = 12$

$Y = 13\% \text{ Mg}$

100 g dolomit:

21,7 g Ca = 1,08 ekv

13 g Mg = 1,08 ekv

$2 \times 1,08 \times 28 = 60,5\% \text{ CaO}$

Man brukar med räkna med 56% CaO och 12% Mg i saluvaran.

Förteckning över samtliga rapporter erhålles kostnadsfritt. I mån av tillgång kan tidigare nummer köpas från avdelningen.

A list of all reports can be obtained free of charge. If available, issues can be bought from the division.

- | | | |
|-----|------|---|
| 181 | 1991 | Lars Gunnar Nilsson: Nitrifikationshämmare - flytgödsel.
<i>Nitrification inhibitors - slurry.</i> |
| 182 | 1991 | Lennart Mattsson: Nettomineralisering och rotproduktion vid odling av några vanliga lantbruksgrödor.
<i>Nitrogen mineralization and root production in some common arable crops.</i> |
| 183 | 1991 | Magnus Hahlin: Kaliumgödslingseffektens beroende av balansen mellan kalium och magnesium. II. Fältförsök, serie R3-8024.
<i>Influence of K/Mg-ratios on the effect of potassium fertilization. Field experiments R3-8024.</i> |
| 184 | 1991 | Käll Carlgren: Skördeeffekter och pH-inverkan av fem kvävegödselmedel studerade i ett långliggande fältförsök.
<i>Influence on yield and soil pH-value from five nitrogen fertilizers studied in a long-term field trial.</i> |
| 185 | 1992 | Enok Haak och Gyula Simán: Fältförsök med Øyeslagg.
<i>Field experiments with Øyeslagg.</i> |
| 186 | 1992 | Lennart Mattsson: Effekter av halm- och kvävetillförsel på mullhalt, kvävebalans och skörd i ett långliggande fältförsök i Uppland.
<i>Effects on soil organic matter content, N balance and yield of straw and N additions in a long term experiment in Central Sweden.</i> |
| 187 | 1992 | Lars Gunnar Nilsson och Magnus Hahlin: Modell för beräkning av växttillgänglig fosfor-P-AL på basis av ICP-analys.
<i>A model for calculation of plant available phosphorus in soil according to AL/standard and AL/ICP.</i> |
| 188 | 1992 | Enok Haak och Gyula Simán: Fältförsök med kalkning av fastmarksjordar till olika basmättnadsgrad.
<i>Field experiments with liming of mineral soils to different base saturation.</i> |
| 189 | 1992 | Lennart Mattsson och Tomas Kjellquist: Kvävegödsling till höstveten på gårdar med och utan djurhållning.
<i>Nitrogen fertilization of winter wheat on farms with and without animal husbandry.</i> |

- 190 1992 Christine Jakobsson och Börje Lindén: Kväveeffekter av stallgödsel på lerjordar.
Nitrogen effects of manure on clay soils.
- 191 1992 Magnus Hahlin och Erik Svensson: Radmyllning av NPK till fabrikspotatis. Resultat från försöksserie FK-1290. Samarbetsprojekt mellan Försöksavdelningen för växtnäringslära och Fabrikspotatiskommittén.
Placed application of NPK fertilizer to starch potatoes. Results from field experiment project FK-1290.
- 192 1993 Enok Haak: Fältförsök med kalkning av fastmarksjordar i Norrland.
Field experiments with liming of mineral soils in North Sweden.
- 193 1994 Barbro Beck-Friis, Börje Lindén, Håkan Marstorp och Lennart Henriksen: Kväve i mark och grödor i odlingssystem med fånggrödor. Undersökningar på en sandjord i södra Halland.
Nitrogen in soil and crops in cropping systems with catch crops. Studies on a sand soil in Halland in south-west Sweden.
- 194 1994 Enok Haak, Börje Lindén & Per Johan Persson: Kväveflöden i olika odlingssystem. Försök på Lanna, Skaraborgs län.
Nitrogen flow in different cultivation systems. A field experiment at Lanna Research Station in south-west Sweden.
- 195 1995 Käll Carlgren & Jan Persson: Fält-, kärl- och laboratorieundersökningar med Phosforkalk från Karlshamn.
Field, Pot and Laboratory Experiments with Phosforkalk from Karlshamn Ltd.
- 196 1995 Lennart Mattsson: Skördevariationer inom enskilda fält. Storlek och tänkbara orsaker.
Yield variations within individual fields. Magnitude and possible reasons.
- 197 1996 Käll Carlgren: Två fältförsök med jämförelse mellan konventionell och ekologisk fosforgödsling.
Two Field Experiments with Comparison between Conventional and Ecological Phosphorus Fertilization.
- 198 1997 Enok Haak & Gyula Simán: Effekter av kalkning och NPK-gödsling i sju långvariga försök i fält, 1962-92.
Effects of liming and NPK-fertilization in seven long term field experiments, 1962-92.
- 199 1998 Börje Lindén, Käll Carlgren & Lennart Svensson: Kväveutnyttjande på en sandjord i Halland vid olika sätt att sprida svinflytgödsel till sträsäd.

Nitrogen utilization on a sandy soil after application of pig slurry to cereal crops with different techniques.

- 200 1999 Enok Haak: Vädrets och kvävegödslingens inverkan på växtproduktion och näringsupptag i bördighetsförsöket R3-9008, 1985-1992.
Influence of weather and N-fertilization on DM-yield and nutrient uptake in the fertility experiment R3-9008, 1985-1992.
- 201 1999 Lennart Mattsson: Mullhalt och kväve mineralisering i åkermark.
Soil organic matter and N mineralization in arable land
- 202 2001 Lennart Mattsson, Thomas Börjesson, Kjell Ivarsson & Kjell Gustafsson. Utvidgad tolkning av P-AL för mark- och skördeanpassad fosforgödsling.
Extended interpretation of labile P for soil and yield related P fertilization.
- 203 2003 Käll Carlgren: Länsförsök med koppargödsling 1971-73.
Regional field experiments with copper fertilization 1971-73.
- 204 2003 Jan Persson & Käll Carlgren: Långsiktig verkan hos markens kopparföråd.
Long-term copper maintenance.
- 205 2003 Lennart Mattsson: Växtnäring, produktion och miljö
Plant nutrients, production and environment.
- 206 2003 Lennart Mattsson: Kvävebalans i korn och höstvet.
Nitrogen balance in barley and winter wheat.
- 207 2003 Jan Persson: Kväveförluster och kvävehushållning. Förbättringsmöjligheter i praktiskt jordbruk. Kortsiktiga och långsiktiga markbiologiska processer med speciell hänsyn till kvävet.
Nitrogen losses and N management. Possible improvements in agriculture. Short term and long term soil biological processes with special regard to nitrogen

I denna serie publiceras forsknings- och försöksresultat från avdelningen för växtnäringslära, Sveriges lantbruksuniversitet. Serien finns tillgänglig vid avdelningen och kan beställas därifrån.

This series contains reports of research and field experiments from the Division of Soil Fertility, Swedish University of Agricultural Sciences. The series can be ordered from the Division of Soil Fertility.

DISTRIBUTION:

**Sveriges Lantbruksuniversitet
Avd. för växtnäringslära**

**750 07 UPPSALA
Tel 018-671249**
